ملخص الفوائد البديعة فى علم الطبيعة

(تأليف)

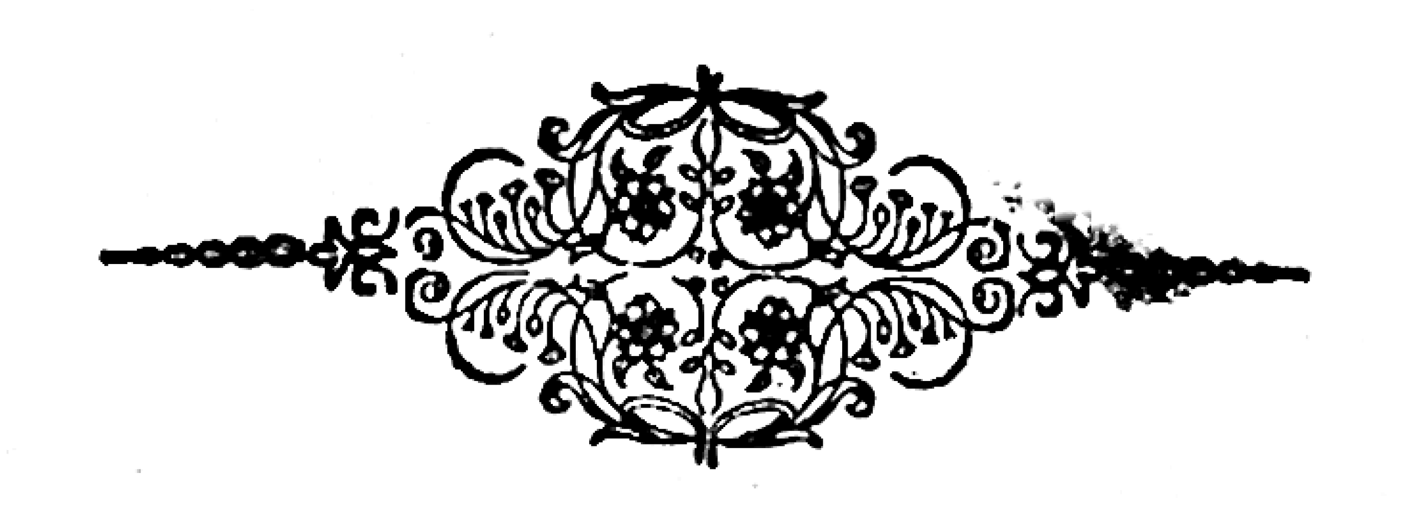
(المتوكل على مولاه الامجد منصور أحمد)

(خوجة الكيميا والطبيعة بمدرسة)

(المهندسخانة الخديوية)

طبع بمطبعة المدارس الملكية الكائنة بسراى درب الجماميز بمصر القاهرة

(طبعة أولى)



(بسم الله الرحمن الرحيم)

(ملخص دروس علم الطبيعة اللازم تدريسها التلامذة مدرسة المهندسخانه الخديويه)

(الباب الاول فى المادة والقوى والحركة وفيه فصول)

(الفصل الاول مقدمة فى القواعد العامة وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى حد العلم)

علم الطبيعة غايته دراسة الظواهر التى تحدثها الاجسام بدون ان تكابد أدنى تغير فى تركيبها فخرج علم الكيميا لانه يبحث بالخصوص عن الظواهر التى تحدثها الاجسام مع تغير فى طبيعتها

(المبحث الثانى فى المادة)

المادة أو الجسم هو كل ما وقعت عليه حواسنا وتنقسم الاجسام الى بسيطة ومركبة فالاجسام البسيطة أى العنصرية المعروفة الآن اثنان وستون جسما وهى التى لم يستخرج منها بواسطة التحليل الا نوع واحد من المادة لكن من الجائز أن يزيد عدد هذه العناصر فيما سيأتى أو ينقص لانه من الممكن استكشاف عناصر جديدة كما أنه يمكن الوصول الى تحليل كثير منها

والاجسام المركبة هى التى يستخرج منها جملة موادّ مختلفة كالزجاج والخشب والرخام وغير ذلك

(المبحث الثالث فى الجسم والجوهر الفرد والجزء)

الجسم هو كل كمية محدودة من المادة ويستدل من خواص الاجسام على أنها متكونة من عناصر صغيرة جدا غير قابلة للتجزى المحسوس وان كانت تقبل التجزأ عقلا موضوعة على بعضها بدون ملامسة كلية بينها مسافات خالية وممسوكة هذه الاجزاء بقوة الجذب والانضمام المشترك المسماة بالقوة الجزيئية وهذه العناصر تسمى بالجواهر الفردة ويعرّف الجوهر الفرد حينئذ بانه هو ما لا يقبل القسمة ولا التجزأ المحسوس والجزء هو ما تكوّن من جملة جواهر فردة وحينئذ فالجسم هو ما تكوّن من انضمام جملة أجزاء وهذا التعريف أولى من تعريفه بانه ما وقعت عليه حواسنا الان ذلك يشمل البرد مع أنه ليس بجسم

(المبحث الرابع فى الكتلة)

كتلة الجسم هى كمية المادة المكونة له ولا يمكن تعيين كتلة الجسم المطلقة الا بالنسبة لكتلة جسم آخر مأخوذة وحدة

(المبحث الخامس فى أحوال الاجسام)

يعتبر للاجسام ثلاث حالات الاولى الصلابة كحالة الاخشاب والاحجار والمعادن فى درجة الحرارة المعتادة وتتصف الاجسام الصلبة بانضمام أجزائها بحيث لا يمكن فصل بعضها عن بعض الا بقوة كثيرة أو قليلة وبميلها دائما الى حفظ شكلها الاصلى الثانية حالة السيولة التى تشاهد فى الماء والكؤل والزيوت وغيرها والوصف المميز للمائعات هو الانضمام الضعيف جدا الان أجزاءها يمكنها أن تنزلق وتتدحرج على بعضها بغاية السهولة وينتج من ذلك أن الاجسام السائلة ليس لها شكل مخصوص بل تأخذ دائما شكل الاوانى الحاوية لها

الثالثة الحالة الغازية التى توجد للهواء ولجملة اجسام أخر تسمى بالغازات وبالسوائل المرنة أو الهوائية ويكون تحرك أجزاء الغازات اكثر من تحرك أجزاء الاجسام السائلة والوصف المميز للغازات هو ميلها دائما الاخذ حجم أكبر من حجمها الاصلى وتسمى هذه الخاصية بالتمدد

وأغلب الاجسام البسيطة وكثير من الاجسام المركبة يمكنه أن يظهر على حالة الصلابة والسيولة والغازية على التوالى وذلك على حسب اختلاف درجة الحرارة كالماء مثلا

(المبحث السادس فى الظواهر الطبيعية)

الظواهر الطبيعية هى كل تغير يحدث فى حالة الاجسام بدون تغير فى تركيبها فسقوط الجسم وتولد الصوت وتجمد الماء ظواهر طبيعية

(المبحث السابع فى النواميس أى القوانين والنظريات الطبيعية)

الناموس الطبيعى هو النسبة الثابتة الموجودة بين الظاهرة الطبيعية وسببها كما يتضح ذلك من نقص حجم معلوم من غاز مرتين أو ثلاثة اذا أثر عليه ضغط زائد مرتين أو ثلاثة فهذا هو الناموس الطبيعى الذى يتضح بان يقال ان أحجام الغازات تكون على حسب عكس قوة الضغط

والنظرية الطبيعية هى جملة نواميس تنسب الى رتبة من رتب الظواهر الطبيعية كما يقال نظرية ضوئية نظرية كهربائية ومع ذلك فقد تستعمل هذه الكلمة بمعنى قاصر جدا على توضيح بعض ظواهر مخصوصة كما يقال نظرية الندى نظرية السراب

(المبحث الثامن فى المؤثرات الطبيعية)

سبب الظواهر التى تظهرها الاجسام هو وجود المؤثرات الطبيعية أى القوى الطبيعية المتسلطنة على المادة

وهذه المؤثرات هى الجذب والحرارة والضوء والمغناطيسية الارضية والكهربائية ولا تتضح لنا الا بفعلها أى بتأثيرها وأما طبيعتها فمجهولة لنا بالكلية

(الفصل الثانى فى الخواص العامة للاجسام وفيه مباحث)

خواص الاجسام هى الكيفيات المختلفة التى تظهر لحواسنا وتنقسم الى خواص عامة وخواص خاصة

فالخواص العامة هى التى تشترك فيها جميع الاجسام وهى عدم التداخل والتحيز وقبول كل من التمدد والتجزى والمسامية والانضغاط المرونة والحركة والاينرسى أى القصور الذاتى

والخواص الخاصة هى التى لا تشاهد الا فى بعض الاجسام أو فى بعض أحوال للاجسام كالصلابة والسيولة والتماسك وقابلية الانسحاب والطرق والتصفح والشفافية واللون وغير ذلك

المبحث

(المبحث الاول فى عدم التداخل)

عدم التداخل خاصية لايمكن بها أن جسمين ماديان يشغلان جزأ من المسافة أى حيزا واحدا فى آن واحد وهذه الخاصية لا توجد حقيقة الا فى الجواهر الفردة لانه قد يظهر تداخل الاجسام فى عدة ظواهر مثال ذلك اذا خالطت جملة معادن مع بعضها فانه يشاهد نقص الحجم الكلى فهذا التداخل ظاهرى وليس حقيقيا وانما حصل بسبب أن الاجزاء المادية المكونة للجسم ليست متلامسة تلامسا كليا بل يوجد بينها أخلية حلت فيها المادة الاخرى

وكذا دخول سن السهم فى الخشب انما هو فى الخلو الحاصل من تبعيد أجزاء الخشب لانفوذه فى نفس الاجزاء ودخول الماء فى الاسفنج والطباشير والسكر حلول فى الاخلية أى المسام الموجودة بين الاجزاء وكذا اذا غمست يد فى إناء فيه ماء شوهد ارتفاع سطح الماء ولو ملئت زجاجة بالماء ولم يبق فيها فراغ لاحلل السدادة وسدت سدا محكما ثم نفذ فيها سلك من حديد الى باطن الماء لانكسرت الزجاجة وذلك لان السلك بحلوله فى باطن الزجاجة يلجئ أجزاء الماء للتباعد كى يجد له حيزا يحل فيه والماء يكاد ان لا يقبل الضغط فتنكسر الزجاجة

وخاصية عدم التداخل توجد أيضا فى الغازات وان كانت كثيرة القبول للانضغاط ولذلك اذا غمرنا ناقوس مملوء بالهواء فى ماء لم يصعد الماء فى ذلك الناقوس الا حد منه وعلى هذه الخاصية أسس ناقوس الغواصين وهو ناقوس كبير من خشب له قمريات من زجاج كقمريات الحمام وله جهاز لقبول الهواء من أعلى ليستعاض به ما فقد بالتنفس من الهواء المنحصر فى الناقوس ومعلق بحوافيه قطع من الرصاص ليحفظ على الوضع المطلوب والغواص يدخل رأسه فى الناقوس و ينزل به فى الماء لالتقاط اللؤلؤ ولمباشرة أعمال أخرى فى وسط الماء

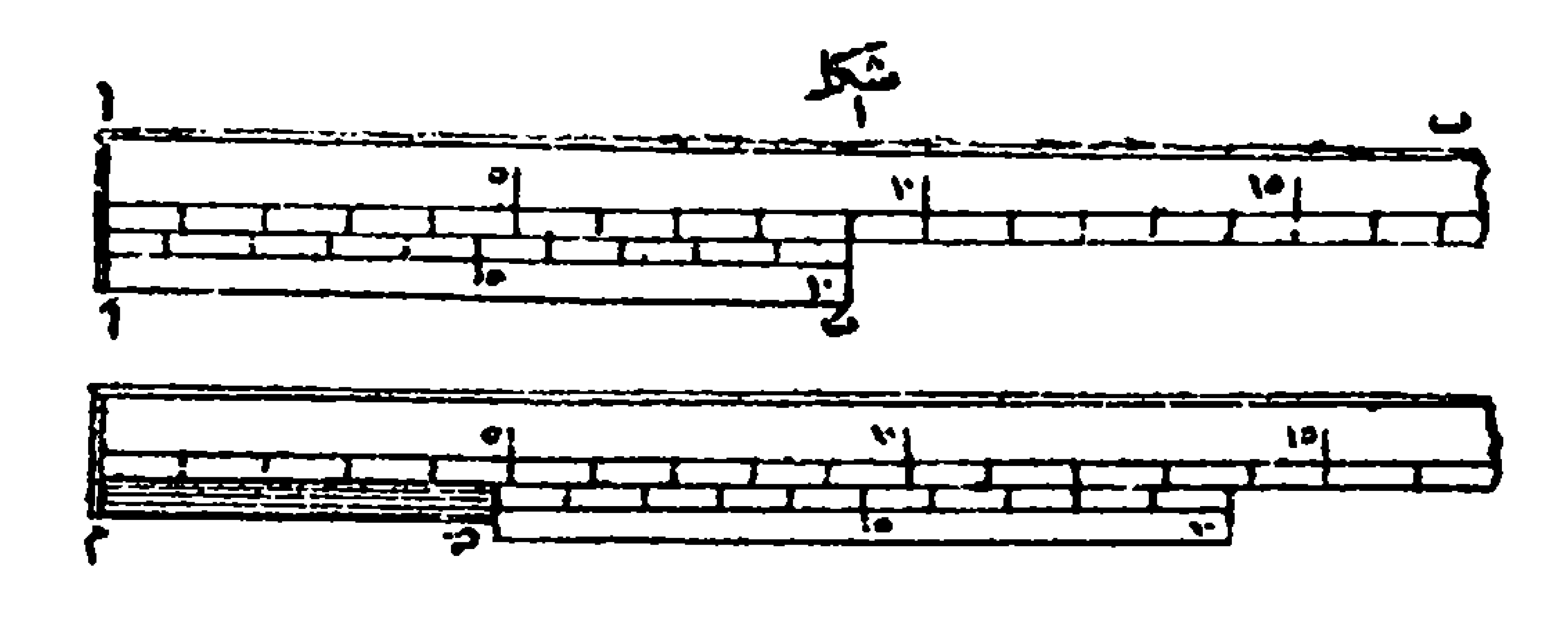
(المبحث الثانى فى الحيز)

التحيز خاصية للاجسام فى كونها تشغل جزأ محدودا من المسافة والحيز هو الجزء المحدود من المسافة المشغول بالجسم وان شئت قلت هو محل أبعاد الجسم الثلاثة أعنى الطول والعرض والعمق

وكل جسم مادّى يشغل جزأمن المسافة بحسب ماهو عليه من صغراو كبر وهذا الجزء هو المسمى بالحيز وحيث ان الشئ لا يكون صغيرا أو كبيرا أو طويلا أو عريضا أو عميقا الا مقابلته بغيره جعلوا المقاييس المعروفة أصلا لتعيين مقداره ذرعا أو غيره فوضعوا القيراط والقدم والشبر والذراع والتواز وهو ستة أقدام آلات للقياس غيرأن هذه المقاييس لما كانت مختلفة بين الناس اجتهد الفرنساوية فى تحرير عمل مقياس عامّ لتكون المقاييس متماثلة عند الناس فاختار والقياس المسافات نوعا منها وهوالمتر وذلك لان جميع المقاييس مأخوذة منه وهو جزء من عشرة ملايين من ربع خط الزوال الارضى أعنى الدائرة المارّة من أحد القطبين الى الآخر وهذا المتراذا قوبل بالقدم القديم الذى طوله اثناعشر قيراطا كان ثلاثة أقدام وأحد عشر خطامن قيراط و٢٩٦ جزأمن ألف جزء من خط فاذاضرب المترفى عشرة أومائة أو ألف أوعشرة آلاف تحصلت الآحاد المتكررة المشهورة ديكامتر أى عشرة أمتار وايكتومتر أى مائة متر وكيلومتر أى ألف متر وميريامتر أى عشرة آلاف متر واذا قسم المتر على عشرة أومائة أو ألف تحصلت الكسور المشهورة ديسى متر أى عشر المتر وسنتى متر أى عشر عشر المتر أعنى جزأ من مائة من المتر وملّى متر أى جزء من ألف من المتر

وجعلوا القياس سطح الارض الآر وهو مقياس مربع كل جانب منه عشرة أمتار والاستير وهو متر مكعب وجعلوا القياس المائعات الليتر وهو ديسى متر مكعب من الماء المقطر

ونذكر من جملة الآلات التى وضعت لقياس الحيز الالة المعروفة بالورنيي المسماة هكذا باسم مخترعها وتتركب الورنيي من مسطرتين أكبرهما ا ب شكل ١



ثابتة

ثابتة ومقسمة الى أقسام متساوية وأصغرهما آ بَ متحركة وهى الورنييه الحقيق ولاجل تدريجها يعطى لها طول تسعة أقسام من أقسام المسطرة الكبيرة ثم نقسم عشرة أجزاء متساوية فينتج من ذلك أن كل قسم من مسطرة آ بَ أصغر من أقسام المسطرة ا ب الكبيرة بعشر قسم

فاذا أريد معرفة طول جسم م ن فليوضع كما هو مشاهد فى الشكل بطول المسطرة الكبيرة فيوجد ان طوله يساوى أربعة أقسام زائد كسر فهذا الكسر هو الذى تستعمل الورنييه لقياسه ولاجل ذلك تزلق على المسطرة الثابتة الى أن تلامس طرف جسم م ن ثم يبحث عن محل تطابق أقسام المسطرتين ففى هذا الشكل حصل التطابق فى القسم الثامن من الورنييه بالابتداء بالعد من نقطة ن وهذا يدل على أن الكسر المراد قياسه يساوى ثمانية من عشرة وفى الواقع حيث ان كلا من أقسام الورنييه أصغر من أقسام المسطرة بعشر يشاهد أنه بالذهاب من نقطة المطابقة من جهة اليمين الى جهة الشمال يتأخر من أقسام المسطرة على التوالى عشرا وعشرين أو ثلاثة وهكذا و يوجد حينئذ أن الذى هو طرف الورنييه الى القسم الرابع من المسطرة ثمانية أعشار ينتج من ذلك أن جسم م ن يساوى أربعة أقسام من مسطرة ا ب زائد ثمانية أعشار

وحينئذ اذا كانت أقسام المسطرة الكبيرة أجزاء من المليمتر فيقدر طول جسم م ن بأعشار المليمتر التقريبية ولاجل الحصول على طوله بالنسبة لواحد من عشرين أو واحد من ثلاثين من المليمتر يلزم تقسيم المسطرة الكبيرة الى مليمترات و يوضع منها على الورنييه ١٩ أو ٢٩ قسما ثم تقسم عشرين أو ثلاثين قسما متساوية انما يلزم فى هذه الحالة استعمال عدسة عينية لاجل تمييز محل تطابق أقسام المسطرتين

(المبحث الثالث فى التجزى)

التجزى خاصية فى جميع الاجسام بها يمكن فصلها الى أجزاء متميزة فى نهاية الدقة ولاثبات هذه الخاصية وضعوا أمثلة كثيرة منها أن السنتى جرام الذى هو كمية عسرة المشاهدة وقدره خمس قمحة من اللعل يمكنه تلوين ٣٠٠٠ جرام من الماء أعنى ألف درهم فهذا يثبت تجزئته أكثر من عشرة ملايين جزأ تشاهد بالبصر ومنها المواد الرائحية

فانها تثبت تجزأ المادة تجزأ زائدا الان الخمسة سنتجرام أى القمحة من المسك تنشر اجزاء عطرية فى محل متكرر فيه مرور الهواء جملة سنوات وغير ذلك

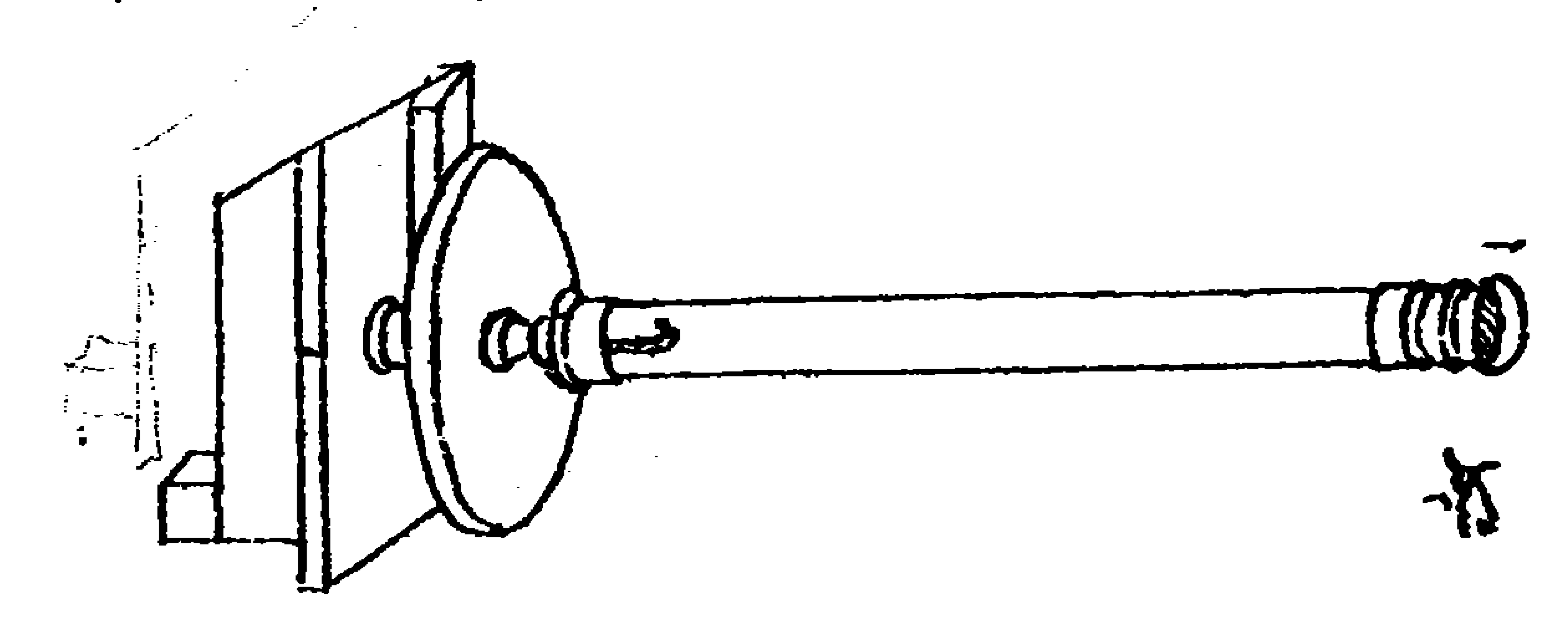
ولم يثبت بالتجربة ان كان تجزؤ المادة له نهاية أم لا أما عقلا فلا ينتهى لان الكمية مهما كان صغرها يتصور لها دائما نصف وثلث و ربع وهكذا لكن يقتضى عدم تغير الخواص الكيماوية الخاصة بكل جسم وعدم تغير النسب التى توجد بين وزن العناصر المتحدة بحكم بوجود انتهاء للتجزى ومن ذلك تعتبر الاجسام متكونة من عناصر مادية غير قابلة للانقسام تسمى بالجواهر الفردة

(المبحث الرابع فى المسامية)

المسامية هى الخاصية التى بها توجد جملة مسافات صغيرة خالية بين جزيئات الاجسام تسمى مساما والمسام هى الاخلية الكائنة بين جزيئات الاجسام

و يوجد فى الاجسام نوعان من المسام المسام الطبيعية أى الاخلية الصغيرة جدا المحفوظة بتأثير قوة الجذب والطرد الجزيئى والمسام المحسوسة اى الاخلية الحقيقية التى لا تأثير للقوة الجزيئية عليها

فالمسام الطبيعية ينسب لها الانقباض والتمدد الذى يحصل للاجسام من تغير درجة الحرارة والمسام المحسوسة هى التى يحصل بها التبخر والامتصاص فى الاجسام العضوية والمسام الطبيعية غير ظاهرة فى أى جسم والمحسوسة تكون كثيرة الظهور فى الاسفنج والخشب وفى كثير من الاحجار وقليلته أو عديمته فى المعادن والزجاج ومع ذلك فجميع الاجسام التى ينقص حجمها بالبرودة أو الضغط لها مسام طبيعية و يتحقق وجود المسام [redacted] بالامتصاص أى التشرب ولاجل اظهار المسام بالتجربة تؤخذ أنبوبة طويلة من زجاج منتهية من جزئها العلوى بكفنجال صغير من نحاس ا شكل ٢ المحسوسة



ومن

ومن جزئها السفلى بقاعدة من نحاس تحكم بها على الآلة المفرغة ويكون قاع الفنجال متكونا من جلد ثور ثخين فيصب فيه من الزئبق بحيث يغطى جميع الجلد ثم تفرغ الانبوبة من الهواء فينفذ الزئبق حالا من المسام ويسقط فى الانبوبة على هيئة الرذاذ اى المطر الرفيع بواسطة ثقل ضغط الهواء الجوى عليه وبهذه الكيفية يفعل أيضا مرور الماء من مسام الخشب اذا استعوض الجلد بقرص من الخشب مقطوعا قطعا عموديا بطول الالياف

واذا غمرت قطعة من الطباشير فى الماء يشاهد خروج جملة كرات هوائية صاعدة على السطح فهذه الكرات هى الهواء الذى كان شاغلا لمسام الطباشير وطرده الماء بحلوله فيها وفى الواقع اذا وزنت القطعة الطباشير قبل غمرها فى الماء وبعده يشاهد ازدياد وزنها زيادة معتبرة وحينئذ يمكن قياس الحجم الكلى للمسام على حسب وزن الماء الممتص وأما المسام فى المعادن فقد ثبت وجودها بالتجربة الآتية المنسوبة الى أرباب العلوم بفلورانسا وهى انهم عرضوا كرة مجوفة من الذهب مثلا ممتلئة بالماء لضغط شديد فشاهدوا رشح الماء على سطحها من المسام

(المبحث الخامس فى الحجم الظاهرى والحجم الحقيقى)

يميز فى جميع الاجسام بالنظر للمسام حجم ظاهرى وحجم حقيقى فالحجم الظاهرى هو الحيز الذى يشغله الجسم والحجم الحقيقى هو مادة الجسم الخاصة بقطع النظر عن المسام وبتعريف آخر الحجم الحقيقى هو الحجم الظاهرى ناقص حجم المسام ولا يتغير الحجم الحقيقى لجسم بخلاف الحجم الظاهرى فانه يتغير نقصا وزيادة تبعا لتغير حجم المسام

(المبحث السادس فى استعمال المسام)

تستعمل المسام فى عمل الترشيح بواسطة المواد المستعملة كثيرا فى التدبير الاهلى كالورق الغير منشى ولباد الصوف أو الشعر والاحجار كالخزف أو الرمل والفحم فمسام هذه المواد ذات اتساع كاف لمرور السائل لكنها كثيرة الضيق بالنظر لمرور الاجسام المتعلقة فيه أعنى أنها تسمح لمرور السائل وتمنع الاجسام المتعلقة فيه وفى محل قطع الاحجار بان تعمل حفر فى كتلة الحجر ثم توضع فيها خوابير من خشب جاف جدا فبامتصاص الخشب للرطوبة ودخول الماء فى مسامه ينتفخ ويفصل القطع الكبيرة واذا بلت الحبال الجافة بالماء ازداد عرضها ونقص طولها ومن ذلك تنتج واسطة قوية تستعمل لرفع الاثقال العظيمة

(المبحث السابع فى قابلية الانضغاط)

قابلية الانضغاط خاصية للاجسام تصير بها بواسطة قوة الضغط فى حجم أصغر مما كان لها قبل والاجسام الكثيرة المسام هى الاكثر قبولا للانضغاط فبواسطة قوة الضغط تتقارب الاجزاء و يضيق اتساع المسام وحينئذ فقابلية الانضغاط مما يثبت وجود المسام وان كان هناك أجسام كثيرة المسام لا تقبل الانضغاط كالاحجار الهشة التى تتفتت أجزاؤها ولا تنضغط

وخاصية قبول الانضغاط كثيرة الاختلاف فى الاجسام فالغازات هى الاكثر قبولا للانضغاط حتى أن كثيرا منها يمكنه أن يصير بواسطة الضغط فى حجم أصغر من حجمه الاصلى بعشر مرات أو عشرين او مائة مرة ومع ذلك فاغلب الغازات له حد للضغط بحيث متى تجاوزه استحال الى السيولة

وقابلية الانضغاط فى الاجسام الصلبة أقل منها فى الغازات وتظهر أيضا بدرجات مختلفة فالورق والاقمشة والاسفنج والخشب وجميع الانسجة الكثيرة المسام هى الاكثر قبولا للانضغاط من جميع الاجسام الصلبة والمعادن تقبله أيضا كما يدل الاثر الذى تكتسبه المعاملة بتأثير صدمة آلة ضرب السكة عليها وكذا انضغاط الاجسام الصلبة له حد بحيث متى زاد الضغط تفتتت حالا واستحالت فى الغالب الى مسحوق ناعم

وأما قابلية الانضغاط فى السائلات فضعيفة واعتبرت السائلات زمنا طويلا أنها غير قابلة للضغط لكن ثبت بالتجربة أنها تقبل الانضغاط كما يتضح ذلك بالبيزومتر فى مبحث الايدروستاتيك

(المبحث الثامن فى المرونة)

المرونة خاصية بها تميل الاجسام الى العود لشكلها أو حجمها الاصلى اذا انقطع عنها تأثير القوة التى غيرت حالتها الاصلية كجذب أولى أو ثنى أو ضغط أو مصادمة ونحو ذلك فمن ذلك الوتر الحانى للقوس فانه اذا انقطع رجع القوس لحالته الاصلية وأكثر الاجسام مرونة أسرعها عودا لحالتها وقد تكتسب الاجسام المرونة من الصناعة فان النحاس اذا طرق عليه وهو بارد اكتسب مرونة أكثر مما اذا طرق عليه وهو مسخن وكذا الحديد المتحد بالكربون أعنى الذى صار فولاذا فانه اذا سقى صار مرنا جدا وسهل كسره وتزول مرونته بتسخينه حتى يحمر ثم يترك ليبرد من نفسه تدريجا وتزول أيضا بتوالى الضرب

الضرب بقوة شديدة بعرض صفائح منه بكل العرض فى زمن واحد على سطح مستو من نحو خشب أو ماء

ومما له دخل فى زيادة مرونة الاجسام أيضا أشكالها كما يظهر فيما لو سقطت حلقة على سطح من حجر أو رخام فانها تنقزأ كثر مما لو كان الساقط قرصا مماثلا لها فى المادة والوزن وكذا الكرة المجوفة فانها تنقزأ كثر من كرة مصمتة مساوية لها فى الوزن فاذن تكون الحلقة والكرة المجوفة أكثر مرونة من القرص والكرة المصمتة

ثم ان الاجسام الكثيرة المرونة لا تعود الى شكلها الاول دفعة واحدة بل بعد اهتزازات متعاقبة تأخذ فى التناقص حتى تزول بالكلية كما يشاهد ذلك فيما لو أخذ بنهاية ماسك أو جفت كبير وقربت شعبتاه من بعضهما ثم تركا دفعة واحدة وفيما لو أثبت مقبض سيف فى نحو حفرة أو بين شعبتى منجلة وأميلت ذبابته ثم تركت فان رجوع كل ماذكر لحالته لا يحصل الا بعد اهتزازات كثيرة

والغازات هى التامة المرونة أعنى أنها ترجع لحجمها الاصلى بمجرد تعادل الضغط وكذا السوائل اذا كانت معرضة لبعض ضغط

وأما الاجسام الصلبة فلا جسم منها تام المرونة كالغازات والسوائل خصوصا متى استطال زمن الضغط عليها ومع ذلك فتكون المرونة كثيرة الظهور فى الصمغ المرن والعاج والزجاج والرخام وعسرته فى الشحم والطفل والرصاص ويوجد حد للمرونة فى الاجسام الصلبة ومتى تجاوزته تفتت أو لم ترجع لشكلها أو حجمها الاصلى ولا يوجد حد للمرونة فى الغازات ولا فى السوائل التى ترجع دائما لحالتها الاولى

(المبحث التاسع فى قابلية الحركة والحركة والسكون)

قابلية الحركة هى الخاصية التى بها ينتقل الجسم من حيز الى آخر والحركة هى نفس الانتقال والسكون ضد الحركة أى مكث الجسم فى نفس الحيز

ثم ان السكون اما مطلق أو نسبى والحركة اما مطلقة أو نسبية فالسكون المطلق هو عدم الحركة بالكلية فى جميع العالم ولا يعرف جسم بهذه الحالة والحركة المطلقة لجسم هى انتقاله من حيز الى آخر بالنسبة لجسم آخر مفروض فى حالة السكون المطلق

والسكون النسبى أو الظاهرى هو حالة الجسم الذى يظهر ساكنا بالنسبة للاجسام المحيطة به وان كان منسوبا معها لحركة معلومة مثال ذلك الجسم الماكث فى محل واحد

من السفينة كالصارى فانه يكون ساكنا بالنسبة للسفينة لكنه متحرك بالنسبة للشاطئ فهذا حينئذ هو السكون النسبى

والحركة النسبية لجسم ليست الا حركته الظاهرة أعنى التى تقدر بالنسبة لجسم مفروض ثابت وان كانا متحركين بنفسهما كحركة السفينة بالنسبة لشاطئ النهر لان الشاطئ والسفينة مشتركان فى حركتى دوران وانتقال الارض حول الشمس

(المبحث العاشر فى الانيرسى أى القصور الذاتى)

الانيرسى معناها الحالة الذاتية للجسم أعنى التى وجد عليها فالجسم الساكن لا يتحرك من ذاته والمتحرك لا يسكن من ذاته وسقوط الجسم اذا ترك ونفسه صادر عن قوة الجذب التى توجهه جهة مركز الارض وليس من ذاته وتأخر سرعة كرة العاج على سطح البيليار بالتدريج ناشئ عن مقاومة الهواء الذى تحل الكرة محله وعن احتكاكها على الجوخ المفروش على سطح البيليار ولا يلزم أن يحكم حينئذ على أن هذه الكرة تميل للسكون أكثر من ميلها للحركة كما قال به بعض الفلاسفة المتقدمين حيث شبه المادة بشخص كسلان وعلى العموم متى لم توجد مقاومة فان الحركة تستمر بدون تغير كما يدل على ذلك دوران الكواكب حول الشمس

(الفصل الثالث فى تعريفات القوى وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى القوى)

القوة هى كل سبب كاف لحدوث الحركة أو تكيفها فتأثير العضلات فى الحيوان والتثاقل والجذب والنفور الكهربائى وانتشار البخار كل قوة

و يعطى فى الغالب اسم قدرة للقوى التى تحدث بعض تأثير ومقاومة للقوى التى تقاوم هذا التأثير والاولى التى تميل الى ازدياد الحركة فى كل لحظة تسمى متزائدة والثانية تسمى مبطئة

والقوة اما برهية أو مستمرة فالبرهية هى التى تؤثر مدة زمن قصير جدا كالصدمة أو ثورة البارود والمستمرة هى التى يستمر تأثيرها مدة الحركة كالتثاقل وكقوة جذب الحيوانات لكن من المهم ملاحظة أنه لا يوجد نوعان من القوى بل فقط كيفيتان لتأثير القوى

(المبحث الثانى فى الموازنة)

يأخذ الجسم حالة الموازنة متى أثر فيه قوتان أو جملة قوى فى اتجاه مضاد وأمكن أن

تقاوم

تقاوم هذه القوى بعضها أى يكافئ بعضها البعض الآخر ولم تتكيف حالة سكون الجسم أو تحركه يقال له حينئذ فى حالة الموازنة وانما قلنا فى حالة الموازنة ولم نقل فى حالة السكون لان بينهما فرقا فان الجسم فى حالة الموازنة وان كان معدوم الحركة الا أنه متعرض لتأثير القوى بدليل أنه يكفى لتحركه أدنى تغير يحصل فى احدى القوى الموجبة لوضعه فى الموازنة بخلاف حالة السكون فان الجسم فيها غير متعرض لتأثير القوى ومفقود الحركة بالكلية والميل لها معا ولذا يحتاج لقوة تامة تحوله عن حالة السكون

وتتصف كل قوة أولا بنقطة وقوعها أعنى النقطة التى تؤثر عليها القوة مباشرة

ثانيا باتجاهها أعنى الخط المستقيم الذى يسير الجسم من نقطة الوقوع على حسبه

ثالثا شدتها أعنى مقدارها بالنسبة لقوة أخرى مأخوذة وحدة

والقوة التى تؤخذ وحدة هى اختيارية ولكن حيث انه مهما كان تأثير الجذب أو الضغط الحاصل بقوة يمكن احداثه أى تعويضه ببعض الثقل فتقابل على العموم القوى بالاثقال و يؤخذ الكيلوجرام وحدة للقوة

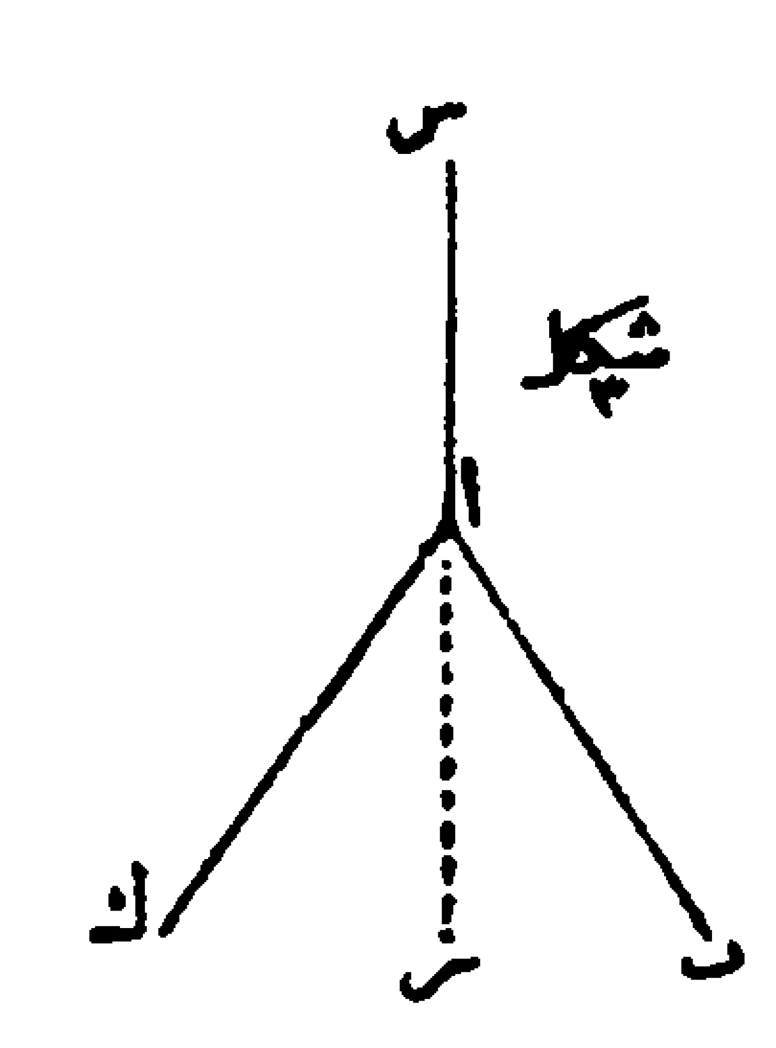
فالقوة تساوى ٢٠ كيلوجرام مثلا اذا أمكن تعويضها بتأثير ثقل ٢٠ كيلوجرام والقوة التى تحفظ دائما شدة واحدة تكون ثابتة والتى شدتها تزيد أو تنقص تكون متغيرة

وتعلم القوة متى علمت نقطة وقوعها واتجاهها وشدتها ولاجل تعيين هذه الاصول المختلفة للقوة يرسم من نقطة الوقوع فى اتجاه القوة خط مستقيم غير محدود ثم يوضع على هذا الخط من ابتداء نقطة الوقوع فى اتجاه القوة وحدة ذات طول اختيارى كالسنتيمتر مثلا مرارا بقدر ما تحتوى القوة المعلومة من وحدة القوة فيحصل حينئذ خط مستقيم محدد للقوة تحديدا تاما ولاجل تمييز القوى عن بعضها يرمز لكل منها بحرف فى اتجاهه كحروف ب ك رس

ولاجل معرفة عدة ظواهر طبيعية يلزم أن نذكر هنا الاصول الاتية المثبوتة فى دروس الميكانيك

(المبحث الثالث فى الناتج ومركباته)

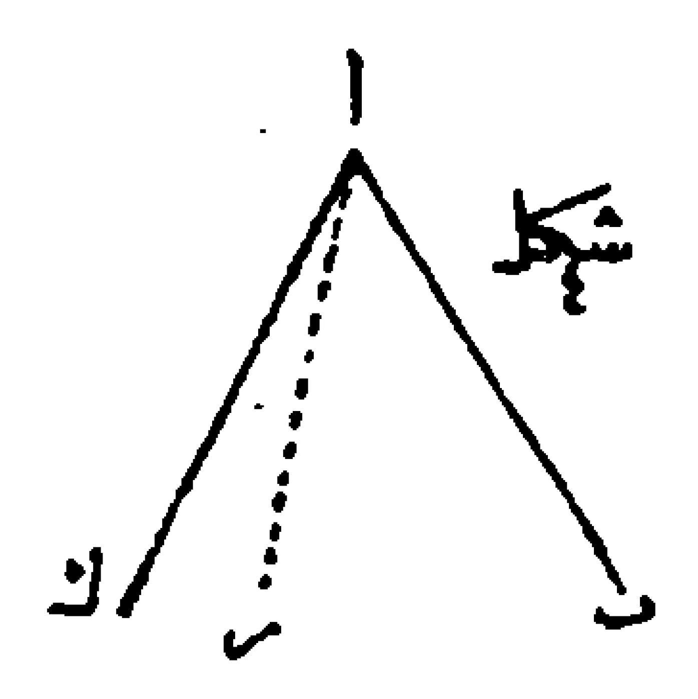
متى أثرت جملة قوى كقوى س ب ك فى نقطة مادية كنقطة ا شكل ٣



وتعادلت فان أحدها كقوة س مثلا تقاوم وحدها تأثير القوتين الآخرتين واذا تحركت قوة س فى اتجاه مضاد على حسب استطالة أر من س ا أحدثت وحدها عين الفعل الذى يحدثه مجموع قوتى ب و ك

وحينئذ فكل قوة امكنها أن تحدث عين الفعل الذى تحدثه جملة قوى مجتمعة تسمى ناتجها أو محصلتها وتسمى القوى مركبة للناتج

ومتى تحرك جسم بتأثير جملة قوى تبع دائما اتجاه ناتج هذه القوى المؤثرة فيه مثال ذلك اذا تحركت النقطة المادية ا فى زمن واحد بقوتى ب ك كما فى شكل ٤



فحيث انه لا يمكنها التحرك فى زمن واحد فى اتجاه مستقيمى اب واك فتأخذ اتجاها متوسطا بينهما ار الذى هو اتجاه ناتج قوتى ب ك

(المبحث الرابع فى تركيب وتحليل القوى المتوازية)

أولا اذا أثرت قوتان متوازيتان فى نقطة واحدة كان ناتجهما مساويا لمجموعهما ان كان اتجاههما واحدا ولفاضلهما ان كان اتجاههما متضادا ويتبع الجسم حينئذ أشدهما مثال ذلك اذا جذب رجلان ثقلا ما فى اتجاه متواز وكانت قوة أحدهما ٢٠ والآخر ١٥ تصير قوة الناتج ٣٥ أو ٥ على حسب جذبهما فى اتجاه واحد أو اتجاه مضاد ومثل ذلك اذا علقت جملة خيول فى عربة فان العربة تسير كما اذا كانت متحركة بقوة واحدة مساوية لمجموع قوى الخيل

ثانيا

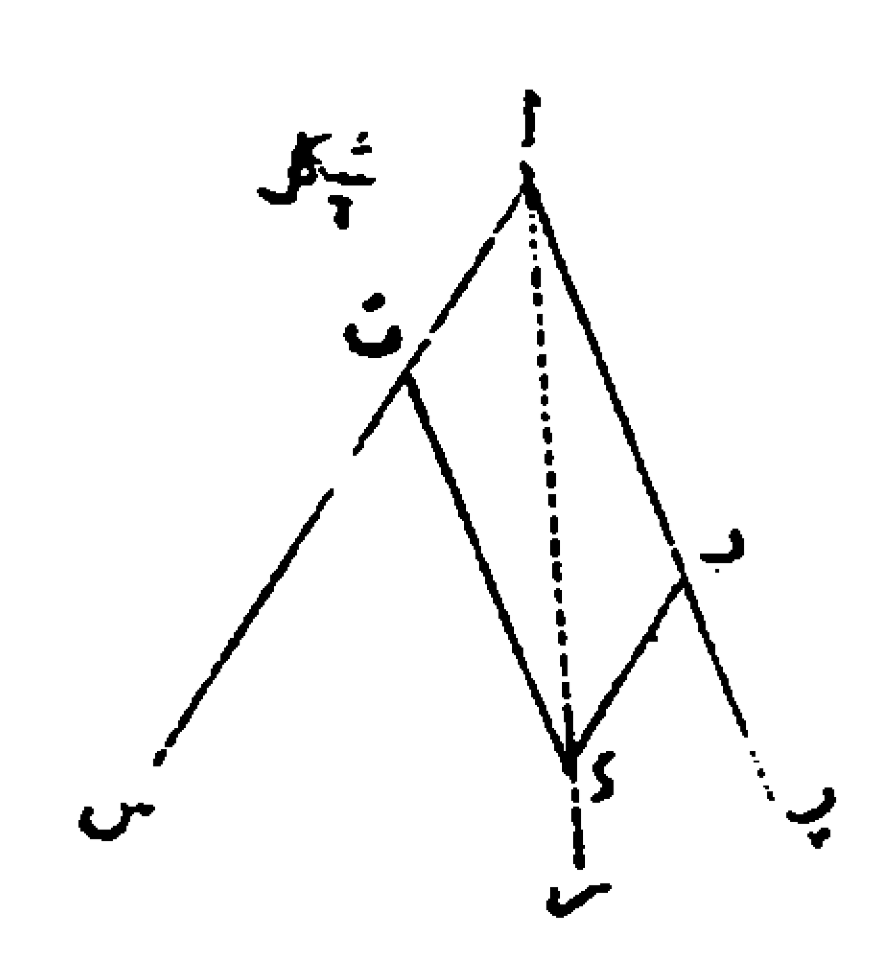
ثانيا اذا أثرت قوتان متوازيتان وفى اتجاه واحد فى طرفى مستقيم ا ب كما فى شكل ٥ كان ناتجهما ر موازيا لهما ومساويا لمجموعهما وقاسما المستقيم ا ب الى قسمين متناسبين عكسا مع قوتى ب و ك ولتكن ث نقطة تأثير الناتج فاذا كانت قوة ب أكبر من قوة ك مرّتين أو ثلاثة كانت مسافة ا ث أصغر من مسافة ث ب بمرّتين أو ثلاثة وينتج من ذلك أنه متى كانت قوتا ب و ك متساويتين قسم ناتجهما خط ا ب الى قسمين متساويين وعكس ذلك اذا كان المؤثر قوة ر وحدها فى ث أمكن تعويضها بمجموع قوتى ب و ك اذا كانا موازيين لها وكانت نقط ا ب ث على خط مستقيم وتكون هاتان القوتان الجديدتان على حسب عكس طول ا ث و ث ب

ولاجل الحصول على ناتج جملة قوى متوازية ومتجهة فى جهة واحدة يبحث أوّلا كما تقدّم على ناتج قوتين من هذه القوى ثم على ناتج الناتج الذى وجد وقوة ثالثة وهكذا الى الانتهاء فيتحصل من ذلك ناتج مساو لمجموع القوى المعلومة وفى نفس اتجاهها

(المبحث الخامس فى تركيب وتحليل القوى المتقاطعة)

القوى المتقاطعة هى التى يتلاقى سيرها فى نقطة واحدة ومفروض تأثيرها فى تلك النقطة مثال ذلك اذا جذبت جملة أشخاص عدّة حبال لاجل دق ناقوس وكانت تلك الحبال ثابتة فى نقطة واحدة على حبل الناقوس المذكور فتكون قوى هذه الاشخاص متلاقية ولتكن أوّلا قوتان متلاقيتين ب و ك شكل ٦

وتأثيرهما واقع فى نقطة ا فاذا أخذ على سيرهما طولان ا ب وا ث بالنسبة لشدّتهما ومدّ من ب و ث مستقيمان موازيان لسير القوتين تحصل متوازى الاضلاع ا ب د ث يعرف منه بسهولة ناتج قوتى ب و ك بواسطة النظرية الآتية المعروفة باسم نظرية متوازى أضلاع القوى



(المبحث السادس فى متوازى أضلاع القوى)

ناتج القوتين المجتمعتين يتعين قدرا واتجاها بقطر متوازى الاضلاع المتركب على هاتين القوتين أعنى أن فى الشكل المتقدم يكون الناتج ر لقوتى ب و ك ليس متجها فقط على حسب قطر متوازى الاضلاع اد بل محتويا على وحدة القوة مرارا بقدر ما يحتوى هذا القطر نفسه على وحدة الخطوط التى وضعت على ا ب و ا ث لتعيين مقدار قوتى ب و ك

وعكس ذلك يمكن تحليل القوة الواحدة الى قوتين مؤثرتين فى نفس النقطة المؤثرة فيها القوة الواحدة ومتجهتين على حسب مستقيمين معلومين ويكفى لذلك ان يركب على هذين المستقيمين متوازى الاضلاع الذى قطره هو القوة المعلومة وطول أضلاعه مقدار القوتين المركبتين المبحوث عنهما

وفى حالة ما اذا أثرت جملة قوى حيثما اتفق فى نقطة واحدة فى اتجاهات مختلفة يتحصل ناتجها بالبحث أولا عن ناتج قوتين متجاورتين ثم يؤخذ هذا الناتج ويبحث به مع قوة ثالثة عن ناتج آخر وهكذا كما تقدم الى آخر قوة

ويظهر فعل تركيب وتحليل القوى ظهورا واضحا بالمشاهدة فيما اذا اجتازت سفينة نهرا وكانت متحركة بتأثير المجاذيف فانها لا تتبع السير الذى على مقتضى دفع المجاذيف لها ولا تتبع سير التيار بل تتبع السير الذى ينسب الى ناتج حركتى الدفع المعرضة هى لهما

*(الفصل

(الفصل الرابع فى تعريفات الحركة وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى أنواع الحركة المختلفة)

تقدم ان الحركة هى حالة الجسم الذى ينتقل من حيز الى آخر ويقال لها مستقيمة ان كان تحرك الجسم على خط مستقيم ومنحنية ان كان تحركه على خط منحن وكل من هذين الحركتين يمكن أن يكون منتظما أو متغيرا

(المبحث الثانى فى الحركة المنتظمة)

الحركة المنتظمة هى التى فيها يقطع المتحرك مسافات متساوية فى ازمنة متساوية وكل قوة برهية أى مفارقة تحدث حركة مستقيمة ومنتظمة متى لم يكن الجسم المؤثرة فيه متعرضا لتأثير قوة أخرى ولم يعارضه معارض وفى الواقع حيث ان الجسم ليس له حركة من نفسه نظرا لقصوره الذاتى فيحفظ السير والسرعة التى أوصلتها البرهية له القوة وعلى العموم يمكن ان تولد القوة المستمرة حركة منتظمة أيضا ويكون كذلك متى حدثت مقاومات تتلف بتجددها بدون انقطاع ازدياد السرعة التى توصلها القوة المستمرة مثال ذلك العربة التى تتحرك على قضبان الحديد بقوة مستمرة فانها تكتسب حركة منتظمة وفى الواقع أن فقد القوة الناشئ عن مقاومة الهواء والاحتكاك يزداد مع ازدياد السرعة ويأتى زمن تحصل فيه الموازنة بين القوة المحركة والمقاومة

(المبحث الثالث فى السرعة وناموس الحركة المنتظمة)

السرعة فى الحركة المنتظمة هى المسافة المقطوعة فى وحدة الزمن وهذه الوحدة اختيارية وهى الثابتة دائما وينتج من تعريف الحركة المنتظمة أن السرعة تكون ثابتة وتكون المسافة المقطوعة فى زمن أكبر من الزمن الاول بمرتين أو ثلاثة أو أربعة ضعف الاولى أو قدرها ثلاث مرات أو أربعة ويعبر عن هذا الناموس بأن يقال ان المسافات المقطوعة متناسبة مع الازمان أعنى أنها تزداد تبعا الازدياد الازمان

(المبحث الرابع فى الحركة المتغيرة)

الحركة المتغيرة هى الحركة التى فيها يقطع المتحرك فى أزمان متساوية مسافات غير متساوية وهذه الحركة تعتبر بكيفيات غير محدودة والمعتبر هنا هو الحركة المنتظمة المتغيرة

تسمى حركة منتظمة متغيرة الحركة التى فيها تزداد السرعة أو تنقص بمقادير متساوية فى أزمنة متساوية ففى الحالة الاولى تكون الحركة المنتظمة متزائدة كحركة سقوط الجسم فى الفراغ وفى الحالة الثانية تكون الحركة المنتظمة بطيئة كحركة حجر قذف عموديا من أسفل الى أعلى

والحركة المنتظمة المتغيرة سببها قوة مستمرة ثابتة وهى قوة جذب الارض ويكون كقوة فى الحركة المتزائدة أى فى حركة سقوط الاجسام وكمقاومة فى الحركة البطيئة أى فى حركة القذف من أسفل الى أعلى

(المبحث الخامس فى السرعة وناموس الحركة المنتظمة المتزائدة)

المسافات المقطوعة فى أزمنة متساوية تكون غير متماثلة فى الحركة المنتظمة المتزائدة والسرعة ليست هى المسافة المقطوعة فى وحدة الزمن كما فى الحركة المنتظمة

ونقصد هنا بالسرعة فى زمن معين المسافة التى يقطعها المتحرك بانتظام من ابتداء هذا الزمن فى كل ثانية اذا انقطع تأثير القوة المتزائدة دفعة واحدة أعنى اذا صارت الحركة منتظمة مثال ذلك اذا قيل لمتحرك ان سرعته ٦٠ مترا بعد عشرة ثوان من الحركة المنتظمة المتزائدة يقال انه اذا انقطع تأثير القوة المتزائدة بعد عشرة ثوان استمر المتحرك فى حركة منتظمة بالنظر لقصوره الذاتى قاطعا ٦٠ مترا فى كل ثانية وبناء على ذلك فكل حركة منتظمة متزائدة مهما كانت زيادة سرعتها فهى منقادة للقانونين الآتيين

الاول أن السرعة تزداد بالنسبة للازمان أعنى أن السرعة المكتسبة بعد زمن ضعف الاول او قدره ثلاث مرات أو أربعة تكون أكبر بمرتين أو ثلاثة أو أربعة وهكذا وهذا القانون نتيجة تعريف الحركة المنتظمة المتغيرة

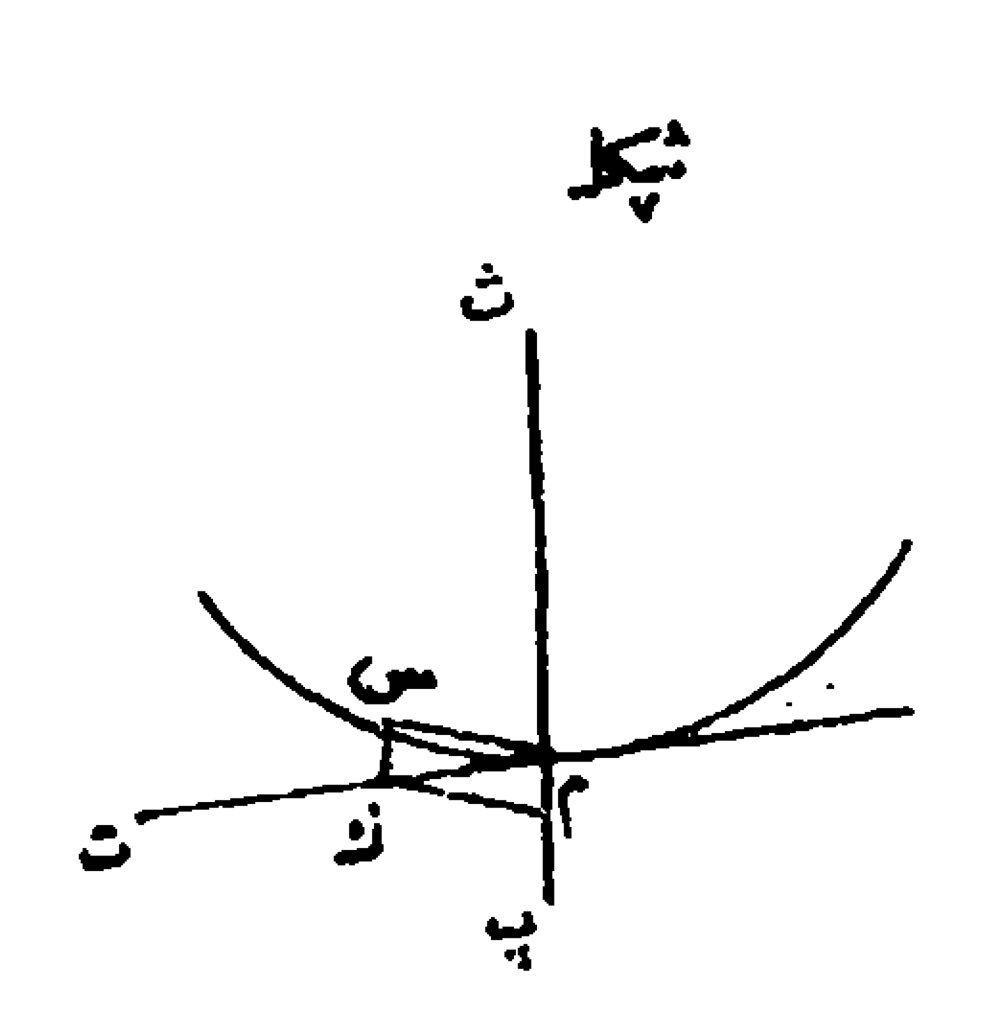
الثانى تكون المسافات المقطوعة مناسبة لمربع الازمان المستعملة لقطعها أعنى انه اذا عينت المسافة المقطوعة فى أول ثانية بواحد تكون المسافات المقطوعة فى ثانيتين وثلاثة وأربع ثوان مبينة بأربعة وتسعة وستة عشر التى هى مربعات الاعداد الأول

(المبحث السادس فى القوة المركزية الطاردة)

تسمى قوة مركزية طاردة كل قوة تنشأ عن حركة منحنية ويميل بها المتحرك على الدوام الى التباعد عن مركز الدوران

ولاجل

ولاجل مشاهدة أن الحركة المحنية تحدث القوة المركزية الطاردة نفرض جسم م
شكل ٧
معلقا فى مركز ث بخيط غير قابل للتمدد وراسما
حول هذه النقطة دائرة فاذا اعتبرت هذه الدائرة
متكونة من خطوط مستقيمة صغيرة جدا أى من
كثير الاضلاع يمكن أن يقال انه متى وصل
المتحرك الى أى نقطة من المنحنى كنقطة م
مثلا فانه يرسم أحد هذه الخطوط الصغيرة
وبالنظر للقصور الذاتى يميل هذا الجسم الى
استمرار حركته على خط مستقيم على حسب
استطالة الخط الصغير الذى يرسمه أعنى على
حسب الخط المماس م ت لكن لا يمكنه
اتباع هذا السير حيث انه ممسوك بالحبل
الغير قابل للتمدد فى مسافة ثابتة المركز



فاذا عبرنا بحرفى م ك عن القوة التى تحرك الجسم المادى فى اتجاه م ت وحللناها الى قوتى م س و م ب تكون الاولى هى القوة التى تقدم الجسم فى اتجاه الانحناء والثانية ليست الا القوة المركزية الطاردة لانها تميل الى تبعيد جسم م عن مركز الدائرة وهذا يمكن تطبيقه على الجسم الموضوع فى المقلاع قبل انقذافه منه فاذا انقطع حبل المقلاع اندفع الجسم باحدى القوتين أعنى بالقوة المركزية الطاردة فيخرج عن خط الاستدارة ويجرى فى خط مماس للمنحنى الذى كان سائرا فيه قبل

ونواميس القوة المركزية الطاردة الناشئة عن الحركة المستديرة ثلاثة

الاول ان شدة القوة المركزية الطاردة تكون متناسبة مع كتلة المتحرك

الثانى أن هذه الشدة للجسم الواحد والانحناء الواحد تكون متناسبة لمربع السرعة وحينئذ متى كبرت سرعة المتحرك مرتين أو ثلاثة كبرت القوة المركزية أربع مرات أو تسعة

الثالث متى تساوت الكتل والسرعة تكون القوة المركزية الطاردة على حسب عكس شعاع الدائرة المرسومة بالمتحرك

(الباب الثانى)

(الفصل الاول فى الفعل العام للتثاقل وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى الجذب العام ونواميسه)

الجذب العام هو القوة التى بها تميل جميع الاجسام المكونة للعالم على الدوام جهة بعضها

وهذه القوة تؤثر على جميع الاجسام ساكنة كانت أو متحركة وهى دائما مشتركة بينها وتأثيرها حاصل فى جميع المسافات كما هو حاصل فى وسط الاجسام

والجذب العام الحاصل بين الكواكب يسمى ميلا ويسمى تثاقلا متى اعتبر الجذب الذى تحدثه الارض على الاجسام لتلجئها للسقوط ويعطى اسم جذب جزيئى للقوة التى تضم جزيئات الاجسام لبعضها

والجذب العام فعل ثابت لكن سببه مجهول بالكلية وتكلم فيه كثير من الفلاسفة المتقدمين مثل دموكريت وإبيكور وغيرهما ونسبوا الى ميل المادة نحو مركز الارض ومركز الكواكب وقال كبلير بوجود جذب مشترك بين الشمس والارض والكواكب السيارة وعرف أيضا كل من باكون وغليلى وهوك الجذب العام لكن نيتون هو أول من استنتج من قوانين كبلير على حركة الكواكب السيارة أن الميل قانون عام وأن جميع الاجسام تتجاذب لبعضها على حسب تركيب كتلها وعلى حسب عكس مربع المسافة

وأثبت نيتون جذب المادة بالمادة ووصل بواسطة الجهاز المسمى بميزان كاوانديس الى صيرورة الجذب المؤثر بكرة غليظة من الرصاص على كرة صغيرة من النحاس محسوسا

(المبحث الثانى فى التثاقل)

التثاقل هو القوة التى بها تسقط الاجسام المتروكة ونفسها نحو مركز الارض وهذه القوة التى ليست الاحالة مخصوصة من الجذب العام تنسب الى الجذب المشترك الواقع بين كتلة الارض وكتل الاجسام

والتثاقل

والتثاقل يؤثر كالميل على حسب عكس مربع المسافة بالنسبة الطردية للكتل ويؤثر على جميع الاجسام بشرط أن لا تتجاوز حد جذبها وأما صعود بعض الاجسام فى الهواء كالسحاب والدخان والقباب الطيارة فسيأتى فى موازنة السائلات أنه يلزم نسبة سببه لنفس التثاقل

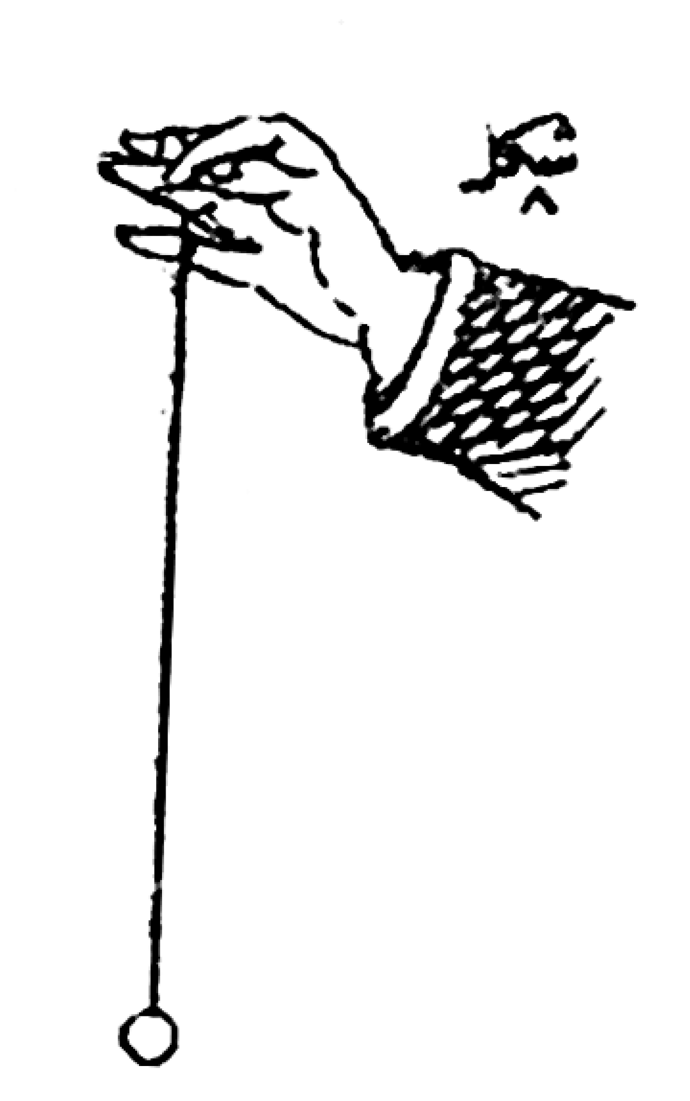
(المبحث الثالث فى اتجاه التثاقل العمودى والافقى)

متى أثرت الاجزاء المادية لكرة بالجذب على حسب عكس مربع المسافة على جزء خارج هذه الكرة يبرهن فى الميكانيك أن ناتج جذب جميع أجزائها يكون عين الجذب اذا كانت أجزاء الكرة منضمة فى مركزها وينتج من هذه القاعدة أن جذب الارض فى كل نقطة من سطحها يكون متجها نحو مركزها ومع ذلك فتفرطح الارض من القطبين وعدم تماثل أجزائها فيهما وعدم تساوى سطحها أسباب يمكنها تغير اتجاه التثاقل لكن بمقدار قليل غير محسوس ويسمى الخط المستقيم الذى تتبعه الاجسام حال سقوطها اتجاها رأسيا للتثاقل والخطوط الرأسية تتباعد فى جميع نقط الكرة تباعدا محسوسا نحو مركز الارض ويتغير اتجاهها من محل الى آخر لكن فى النقط القريبة من بعضها مثل اجزاء الجسم الواحد أو الاجسام المتجاورة تعتبر الاعمدة متوازية وفى الواقع حيث ان الشعاع المتوسط للارض أعنى نصف القطر المنسوب لعرض ٤٥ درجة ٦٣٦٧٤٠٠ متر فالزوايا المتكونة بين هذه الخطوط الرأسية تكون غير مشاهدة بالبصر ومع ذلك ففى النقطتين المتباعدتين عن بعضهما لا تهمل الزاوية المتكونة وتكون تقريبا ثانيه ١٢ درجه ٢ بين أعمدة باريس والدونكيرك وثانية ٢٨ درجة ٧ بين أعمدة باريس والبارسلون وتتعين الزاوية المتكونة بالخطوط الرأسية لمحلين مختلفين بملاحظة كوكب واحد فى كل من المحلين ثم تقاس الزاوية التى يكونها الشعاع البصرى مع الخط الرأسى فالفرق بين الزاويتين الموجودتين هو الزاوية بين الخطين الرأسيين

ويقصدون بالخط الافقى أو السطح الافقى خطا أو سطحا عموديا على الخط الرأسى

(المبحث الرابع فى خيط الرصاص)

يتعين الاتجاه الرأسى فى أى محل بواسطة خيط الرصاص وهو خيط معلق فيه كرة صغيرة من الرصاص شكل ٨



فاذا ثبت هذا الخيط من طرفه العلوى وترك ونفسه أخذ عادة الاتجاه الرأسى لانه سيأتى عن قريب أن الجسم الذى ليس له الانقطة ارتكاز واحدة لايكون فى حالة الموازنة الااذا كان مركز تثاقله ونقطة ارتكازه موضوعين على خط رأسى واحد ولا يمكن أن يستدل بخيط الرصاص ان كان اتجاه التثاقل ثابتا فى محل أم لا وفى الواقع اذا شوهد أن خيط الرصاص الموازى ابتداء لحائط بناء زالت موازنته لها لا يقال هل التثاقل الذى غير اتجاهه أو الحائط التى مالت لكن سنشاهد فى الكلام على خواص السائلات أن سطحها لا يمكث أفقيا أى لا يكون مستويا الا اذا كان عموديا على اتجاه التثاقل وبناء على ذلك اذا تغير اتجاه التثاقل تغير بالتبعية له استواء البحار وثبات هذا الاستواء يكون حينئذ دليلا على ثبات اتجاه التثاقل ومع ذلك فيزوغ خيط الرصاص عن الاتجاه الراسى بقربه من كتلة عظيمة كجبل وقد أثبت كل من كوندامين وبوجير أن الجبل يحدث فى خيط الرصاص زوغانا مقداره ٥٥ ر٧

(الفصل الثانى فى الكثافة والثقل ومركز التثاقل وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى الكثافة المطلقة والكثافة النسبية)

كثافة الجسم هى كتلته فى وحدة الاحجام أعنى كمية المادة المكونة له ولا يمكن أن يقال ماهى الكثافة المطلقة ولا يمكن الا تعيين كثافته النسبية أعنى مقدار المادة المحتوى عليها فى حجم معين بالنسبة لحجم مثله من جسم آخر مأخوذ وحدة للمقابلة وهذا الجسم هو الماء المقطر درجة ٤ للاجسام الصلبة والسائلة والهواء للغازات وبناء على ذلك اذا قيل ان كثافة الخارصين ٧ معنى ذلك أن الحجم من هذا المعدن يحتوى على مادة اكثر مما يحتوى عليه حجم مثله من الماء ٧ مرات

(المبحث الثانى فى الثقل)

يعين فى جميع الاجسام ثقل مطلق وثقل نسبى وثقل نوعى فالثقل المطلق لجسم هو الضغط الذى يحدثه على المعارض الذى يمنعه عن السقوط وهذا الضغط ليس شيئا آخر

خلاف

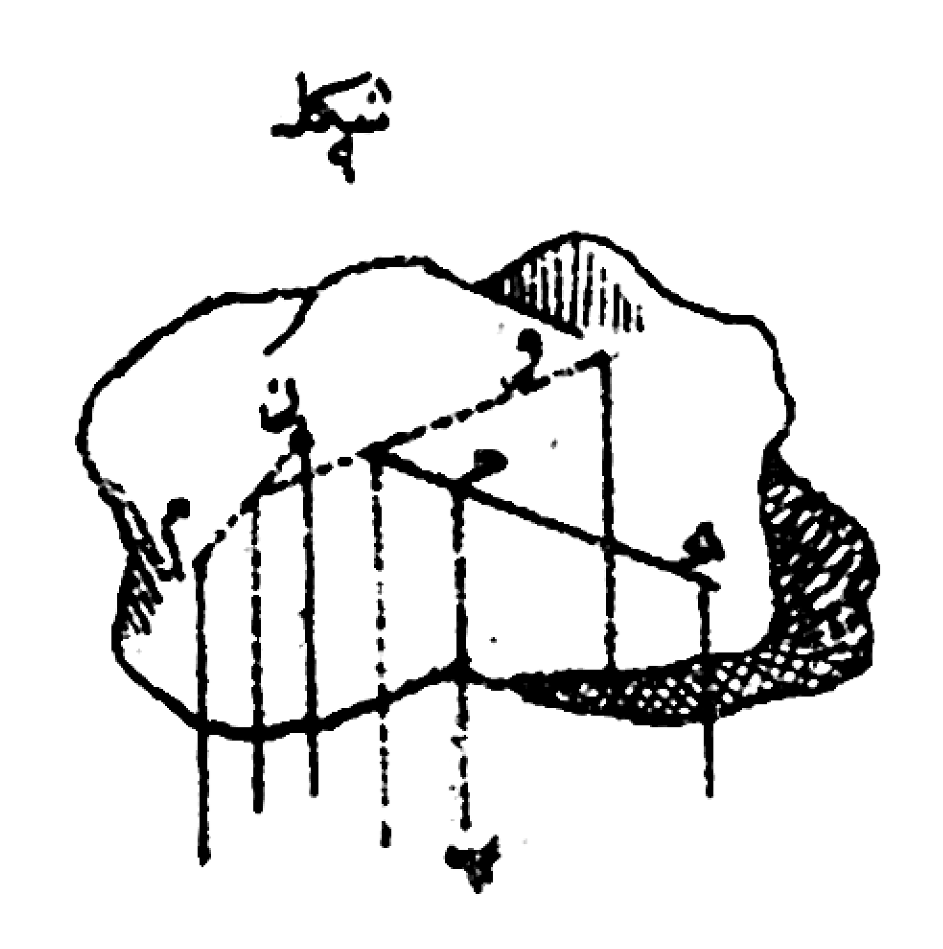
خلاف نتيجة تأثير التثاقل على كل من أجزاء الجسم و ينتج من ذلك أنه يكون أكثر كلما احتوى الجسم على كثير من المادّة ويوضح ذلك بأن يقال ان ثقل الجسم مناسب لكتلته والثقل النسبي لجسم هو الثقل الذى يتعين بواسطة الميزان وهو ان بنسب الثقل المطلق لجسم الى ثقل آخر معين مأخوذ وحدة وهذه الوحدة هى الجرام وحينئذ متى وجد ان جسما يزن ٥٨ جراما فالثمانية والخمسون هى الثقل النسبي و باختيار وحدة أخرى يتغير الثقل النسبي لكن الثقل المطلق لا يتغير والثقل النوعى لجسم هو نسبة ثقل حجم معين منه الى ثقل حجم مساوله من الماء المقطر درجة ٤ + مثال ذلك اذا قيل ان الثقل النوعى للخارصين ٧ دل ذلك على أن الحجم من الخارصين يزن قدر حجم مساوله من الماء المقطر درجة ٤ + ٧ مرّات

وحيث انّ ثقل الاجسام المتساوية الاحجام مناسب لكتلها ينتج من ذلك انه اذا احتوى جسم على مادّة أكثر مما يحتوى عليه الماء بمرّتين أو ثلاثة لزم أن يكون هذا الجسم أثقل من الماء بمرّتين أو ثلاثة و بناء على ذلك فالنسبة بين الأثقال أو الوزن النوعى يلزم أن تكون عين النسبة التى بين الكتل أو بين الكثافة النسبية ولهذا يعتبر كل من الكثافة النسبية والثقل النوعى فى الغالب مكافئات

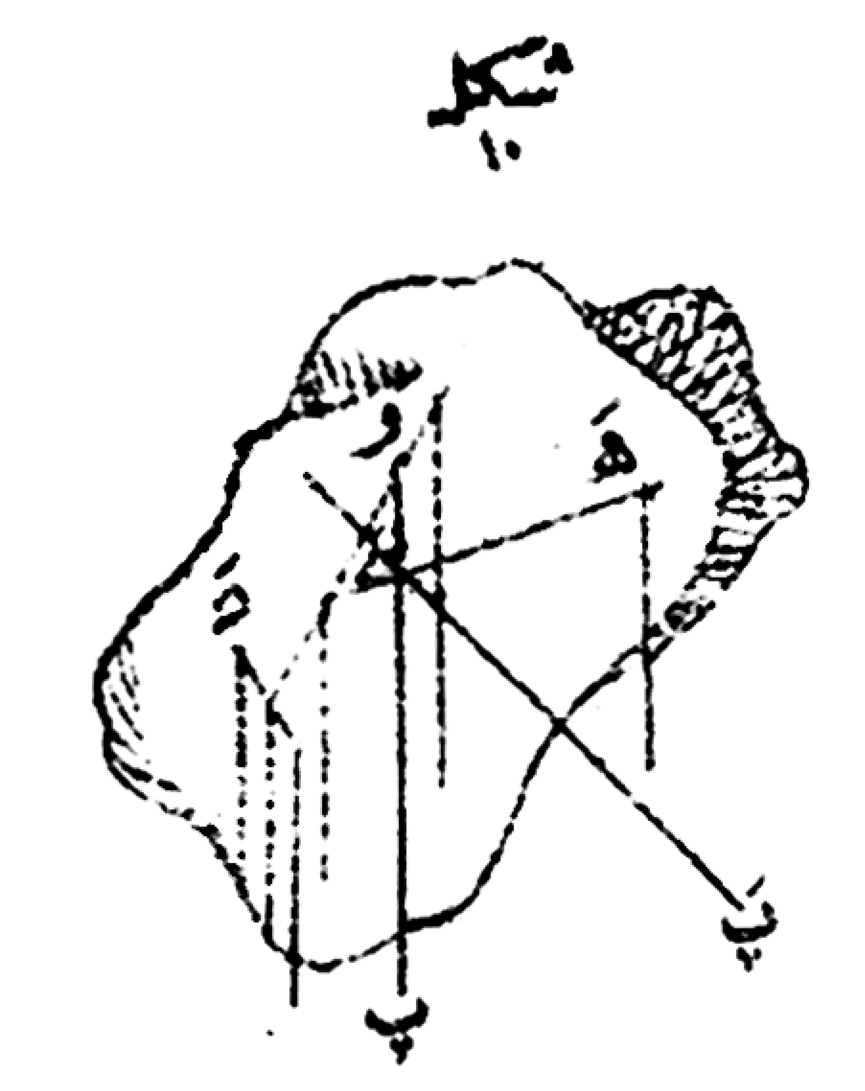
(المبحث الثالث فى مركز التثاقل وتعيينه بالتجربة)

مركز التثاقل لجسم هو النقطة التى يمرّ بها ناتج تأثير قوة التثاقل على جميع أجزاء هذا الجسم مهما كانت أوضاعه وكل جسم له مركز تثاقل واحد وفى الواقع لتكن كتلة حيثما اتفق شكل ٩

وحروف م ن و هـ أجزاؤها فحيث ان جميع هذه الاجزاء متحرك بقوة التثاقل على حسب الاتجاهات الرأسية ينتج من ذلك جملة قوى متوازية يتحصل ناتجها بالبحث أوّلا عن ناتج القوتين المحرّكتين لجزأين حيثما اتفق مثل م ن بالكيفية المتقدمة فى تركيب ناتج القوى المتوازية ثم عن ناتج ناتج القوتين

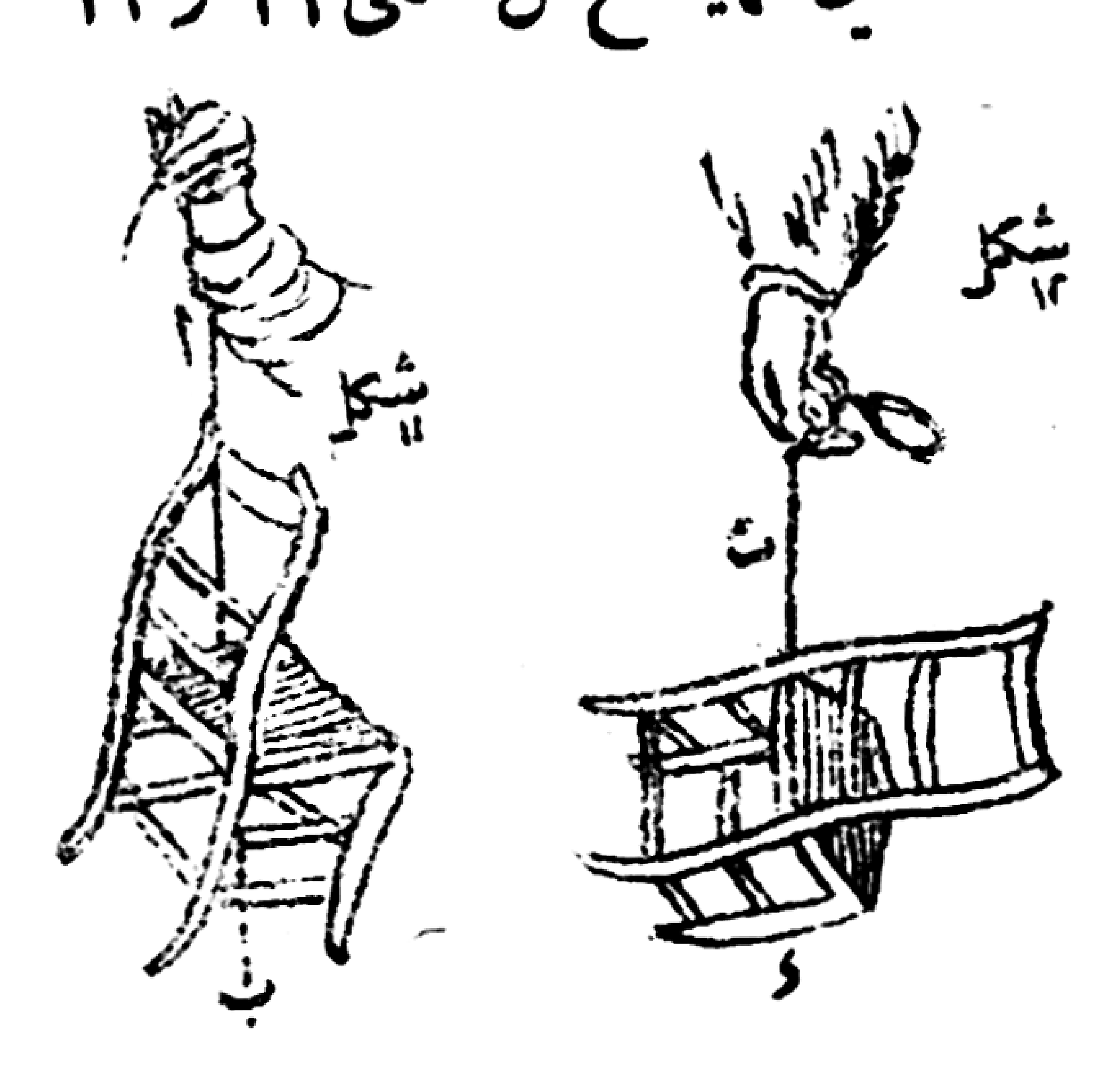


والقوة المحركة للجزء الثالث وهكذا الى أن يتحصل الناتج الاخير پ المؤثر فى ﺟ مبينا الثقل الجسم وبناء على ذلك اذا أعطى للجسم وضع آخر كما يظهر من شكل ١٠ فحيث أن الاجزاء م ن و ﻫ متحركة أيضا بنفس القوى التى كانت متحركة بها حينما كان الجسم فى الوضع الموضح فى شكل ٩ فناتج القوى المؤثرة فى م ن يستمر على المرور من نقطة و ثم الناتج الذى يليه من نقطة وَ وهكذا الى الناتج ب الذى يمر أيضا بنقطة ﺟ ومن



هذه النقطة يقطع اتجاه ﺟ ب الذى كان ناتج الجسم فى الوضع الاول و يحصل مثل ذلك فى جميع الاوضاع التى تعطى للجسم ونقطة ﺟ التى يمر بها اتجاه التثاقل هى مركز التثاقل والبحث عن مركز التثاقل لاى جسم من متعلقات علم الهندسة لكن يمكن تعيينه حالا فى جملة أحوال مثال ذلك فى الخط المستقيم المتماثل مركز التثاقل يوجد فى وسط المستقيم وفى الدائرة يكون فى المركز ومثلها الكرة وفى الاسطوانة يكون فى وسط المحور و يوضح فى الاستاتيك ان مركز التثاقل فى المثلث يوجد على الخط الذى يتصل من أحد رؤوسه الى وسط الضلع المقابل له وفى ثلثى هذا الخط بالذهاب من جهة الرأس وفى الهرم يكون موضوعا على المستقيم الذى يوصل قمته بمركز تثاقل قاعدته وفى ثلاثة أرباع هذا المستقيم بالابتداء من جهة القمة ويكون كذلك فى المخروط ويمكن فى عدة احوال تعيين مركز التثاقل بالتجربة ولاجل ذلك يعلق الجسم فى خيط على التوالى وهو فى وضعين مختلفين كما يتضح من شكلى ١١ و ١٢

ثم يبحث عن النقطة التى فيها الخيط ت د فى الوضع الثانى يقطع اتجاه ا ب الذى كان للخيط فى الوضع الاول فهذه النقطة هى مركز التثاقل المبحوث عنه وفى الواقع لا يمكن حصول الموازنة فى كل وضع الا



الا اذا كان مركز التثاقل موضوعا تحت نقطة تعليق الخيط وعلى اتجاهه وينتج من ذلك أن مركز التثاقل يلزم أن يكون موضوعا على اتجاهي الخيط وبناء على ذلك في نقطة تقاطعهما وفي الاجسام التي شكلها وتماثلها غير متغير يكون وضع مركز التثاقل ثابتا وأما في عكس ذلك فيتغير وضع مركز التثاقل كما يحصل في الحيوانات مثلا التي فيها يتغير وضع مركز التثاقل على حسب أوضاعها

(المبحث الرابع في موازنة الاجسام الثقيلة)

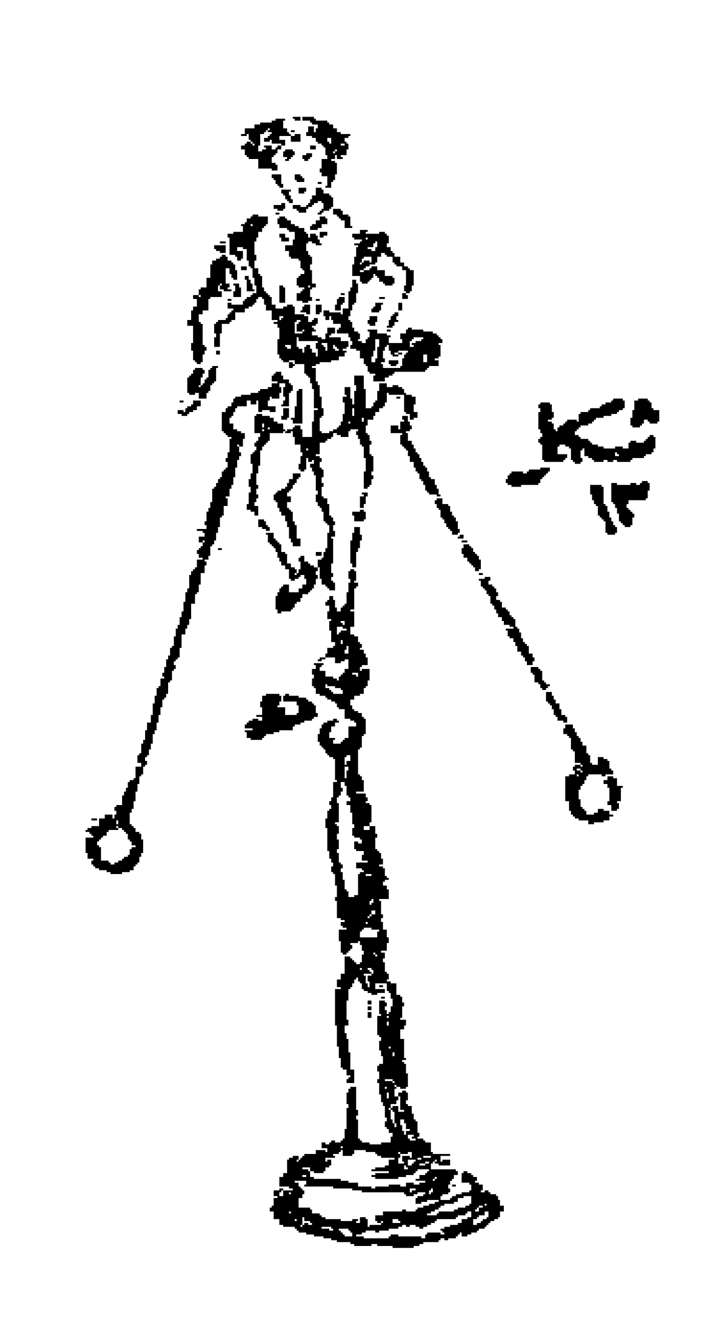
حيث ان قوة التثاقل المؤثرة في الجسم ترجع لقوة واحدة رأسية متجهة من أعلى الى أسفل ومؤثرة في مركز التثاقل فيكفي لوضعه في الموازنة اتلاف هذه القوة بمقاومة نقطة ثابتة تمر منها

(المبحث الخامس في أحوال الموازنة المختلفة)

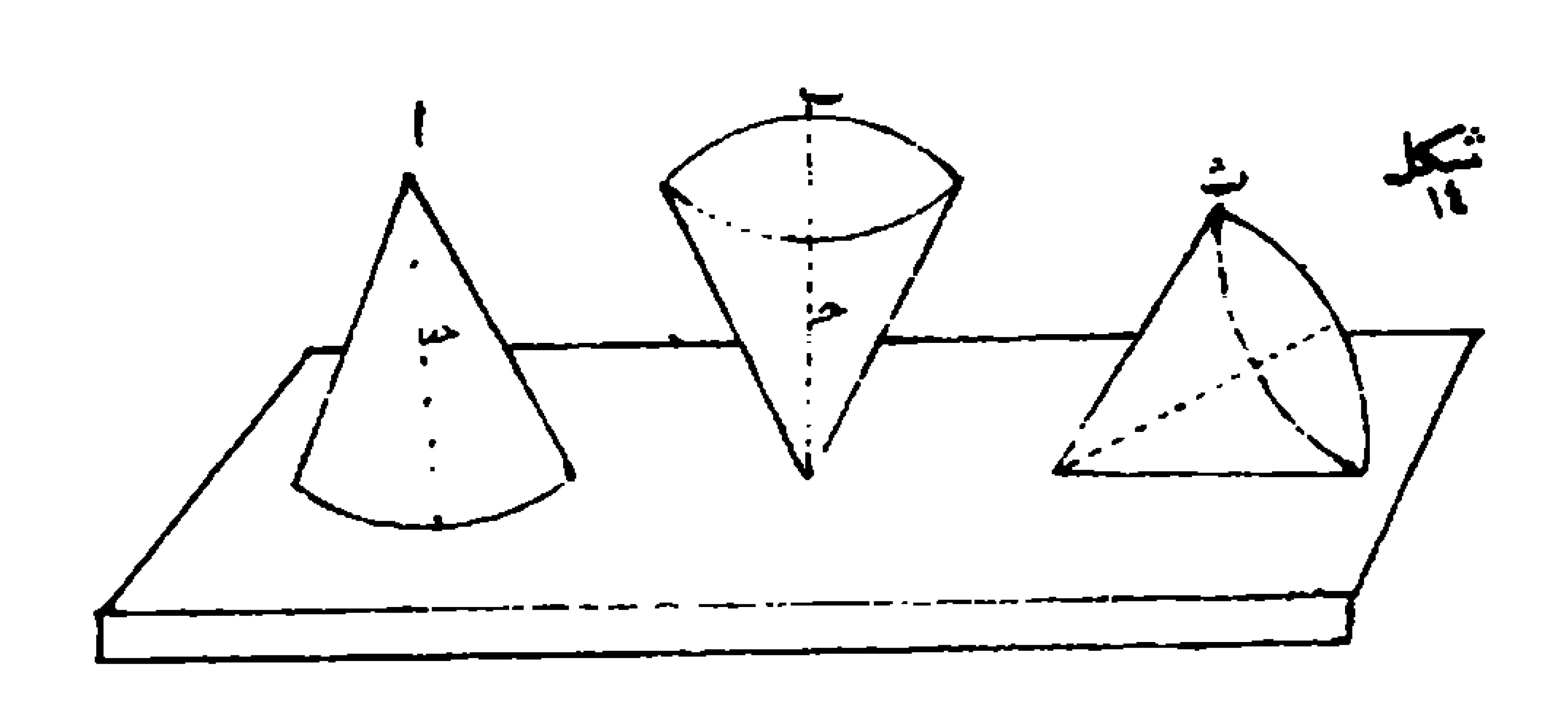
على حسب وضع مركز التثاقل بالنسبة لنقطة الارتكاز تظهر ثلاث حالات للموازنة حالة الموازنة الثابتة وحالة الموازنة الغير الثابتة وحالة الموازنة المتوسطة بين الثابتة والغير الثابتة

فالموازنة الثابتة هي حالة الجسم الذي اذا أبعد عن وضعه في الموازنة رجع اليها من نفسه بمجرد زوال المانع وتظهر هذه الحالة دائما متى كان الجسم في وضع بحيث يكون فيه مركز تثاقلها أكثر انخفاضا مما في جميع أوضاعه الاخر فاذا تحول الجسم حينئذ عن وضعه ارتفع مركز تثاقله وحيث ان قوة التثاقل تميل على الدوام الى خفضه يرجع الجسم ثانيا الى وضعه الاول بعد عدة حركات وتحصل الموازنة كما هي حالة بندول الساعة أو حالة بيضة على سطح أفقي حينما يكون محورها الاعظم موازيا لهذا السطح

و يمثل للموازنة الثابتة بصورة انسان صغير مصنوعة من العاج شكل ١٣ واقفة على رجل واحدة وحاملة لقضيبين من معدن في كل منهما كرة من الرصاص نازلة أسفل نقطة الارتكاز لكي يوجد في جميع الاوضاع مركز التثاقل جـ للكرتين والصورة الصغيرة أسفل نقطة الارتكاز وبذلك تحفظ الصورة الموازنة حتى لو حركت حركات خفيفة لا تسقط



والموازنة الغير الثابتة هي حالة الجسم الذي يميل الى تركها اذا أبعد عن وضعه في الموازنة وتظهر هذه الحالة دائماً متى كان الجسم في وضع يكون فيه مركز تثاقله اكثر ارتفاعاً عما اذا كان في وضع آخر لأن بتحويله ولو قليلاً يصير مركز تثاقله منخفضاً وقوة التثاقل تميل الى زيادة خفضه وهذه حالة البيضة المرتكزة على سطح أفقي بحيث يكون محورها الاعظم رأسياً أي مرتكزة بأحد ذبابتيها او كحالة نبوت وضع في الموازنة على أصبع وتسمى موازنة متساوية أي متوسطة بين الثابتة والغير الثابتة الموازنة التي تثبت في جميع الاوضاع التي يأخذها الجسم ويوجد نوع هذه الموازنة متى لم يكن مركز تثاقل الجسم في أوضاعه المختلفة مرتفعاً ولا منخفضاً كما يحصل في عجلة عربة ممسوكة بمحورها أو كرة مرتكزة على سطح أفقي وشكل ١٤



يبين ثلاثة أقماع ا ب ث موضوعة على التوالي في موازنة ثابتة وغير ثابتة ومتساوية وحرف ج يعين وضع مركز التثاقل

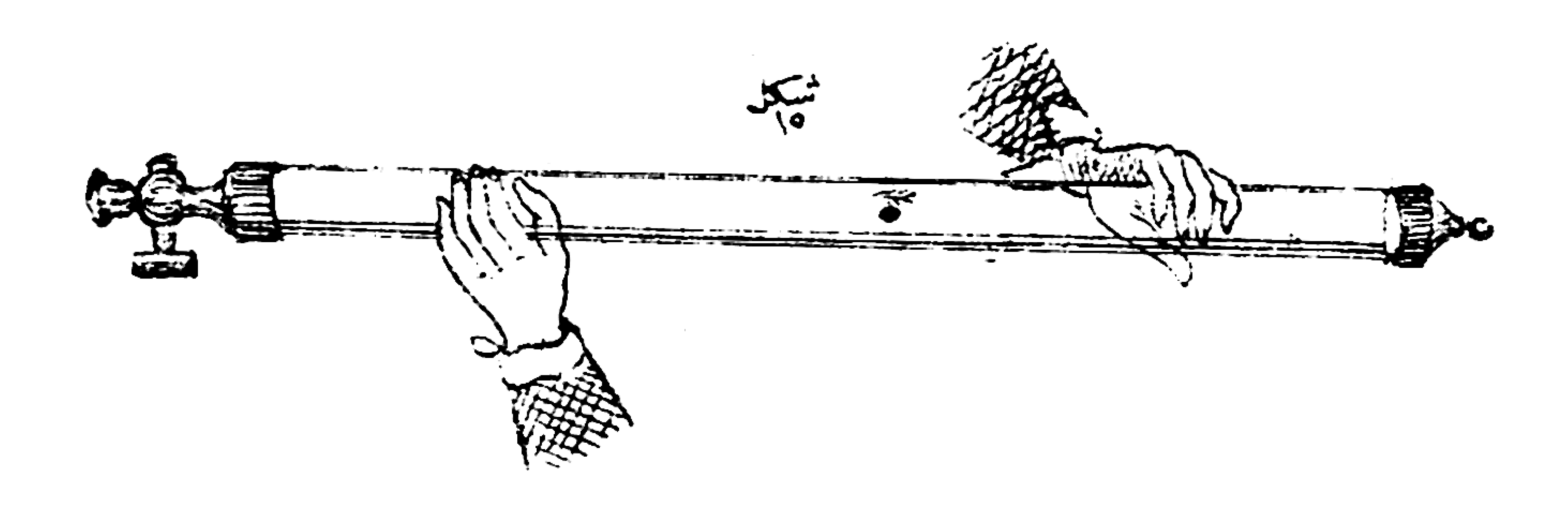
(الفصل الثالث في نواميس سقوط الاجسام والبندول وفيه مباحث)

(المبحث الاول في سقوط الاجسام)

نواميس سقوط الاجسام اذا قطعنا النظر عن مقاومة الهواء أي فرضنا سقوط الاجسام في الفراغ يكون سقوطها امتثالاً الى الثلاثة نواميس الآتية

القانون

القانون الاول ان جميع الاجسام تسقط فى الفراغ بسرعة واحدة ويثبت هذا الناموس بالتجربة بواسطة أنبوبة من زجاج شكل ١٥



طولها متران تقريبا مسدودة أحد الطرفين وطرفها الثانى منته بحنفية من نحاس فيوضع فيها أجسام مختلفة الكثافة كالرصاص وخشب الفلين والورق وزغب الريش ثم يفرغ منها الهواء بواسطة الآلة المفرغة وتقلب الانبوبة بسرعة فيشاهد سقوط جميع الاجسام التى وضعت فيها بسرعة واحدة لكن اذا أدخل قليل من الهواء فى الانبوبة وقلبت ثانيا نظهر تأخر الاجسام الخفيفة قليلا ثم يصير هذا التأخير واضحا بالكلية متى امتلأت الانبوبة بالهواء وحينئذ فالاجسام تسقط فى الهواء بسرع مختلفة وهذا ناشئ عن مقاومة الهواء وليس عن شدة تأثير التثاقل على بعض الاجسام دون البعض الآخر

فالجسم الذى كتلته أكبر من كتلة جسم آخر بمرتين يكون فى الحقيقة مجذوبا جهة الارض بقوة مزدوجة لكن هذه القوة المزدوجة بتحريكها الكمية مزدوجة من المادة لايمكن أن تعطيها الانفس درجة السرعة التى يقبلها الجسم الآخر الصغير من قوة أصغر منها بمرتين

ومقاومة الهواء للاجسام عند سقوطها تكون واضحة بالخصوص فى سقوط السوائل فانها تجزأ فى الهواء وتسقط قطرات وفى الفراغ تسقط كانها مكونة لكتلة صلبة بدون تجزئ وتثبت هذه الظاهرة بواسطة المطرقة المائية وهى أنبوبة من زجاج غليظة

قليلا طولها من ٣٠ الى ٤٠ سنتيمترا تملأ بالماء لنصفها وتغلق على المصباح بعد طرد الهواء منها بالغلي فمتى قلبت هذه الانبوبة بسرعة قرع الماء عند سقوطه قاع الانبوبة السفلي وحدث صوت ناشف كما تحدثه صدمة جسمين صلبين

الناموس الثاني المسافات المقطوعة بسقوط الجسم في الفراغ تكون متناسبة مع مربع الازمان التي قطعها فاذا ابتدئت الازمان بواحد واثنين وثلاثة وأربعة كانت المسافات المقطوعة مبينة بواحد وأربعة وتسعة وستة عشر

الناموس الثالث ان سرعة الجسم المكتسبة بسقوطه في الفراغ تكون متناسبة مع زمن سقوطه أعني أنه كلما كبر الزمن مرتين أو ثلاثة أو أربعة كبرت السرعة المكتسبة مرتين أو ثلاثة أو أربعة

وحيث بمقتضى الناموس الثاني أن المسافة المقطوعة في الثانية الاولى هي واحد والمسافات المقطوعة في ثانيتين وثلاث وأربع وخمس ثوان هي ٤ و٩ و١٦ و٢٥ ينتج من ذلك أن المسافة المقطوعة في نفس الثانية الثانية ٤ — ١ أعني ٣ وفي نفس الثانية الثالثة ٩ — ٤ أعني ٥ وفي نفس الثانية الرابعة ١٦ — ٩ أعني ٧ وهكذا أعني أن المسافات المقطوعة على التوالي في الثانية الاولى والثانية والثالثة والرابعة وهكذا تكون بين بعضها كالاعداد الوترية ١ ٣ ٥ ٧ ٩ وهلم جرا ونواميس سقوط الاجسام لا تكون حقيقية الا في الفراغ وفي السقوط من ارتفاعات قليلة وأما في الهواء فتتنوع بسبب المقاومة التي تلاقيها الاجسام وزيادة على ذلك أن شدة التثاقل ليست واحدة في الارتفاعات الجوية المختلفة كما سيأتي

(المبحث الثاني في السطح المائل)

اخترعت جملة أجهزة لاثبات نواميس سقوط الاجسام كالسطح المائل وآلة أتود وغير ذلك يسمى سطحا مائلا كل سطح كون مع سطح أفقي زاوية أقل من قائمة وكلما كانت هذه الزاوية أكثر حادية كلما ضعفت سرعة الجسم الساقط على السطح المائل وفي الواقع اذا رمزنا بحرفي ا ب شكل ١٦

شكل ١٦

للسطح المائل وبحرفى ا ث للسطح الافقى وبحرفى ب ث للعمود النازل من نقطة ب من السطح المائل على السطح الافقى وبحرف م لجسم حيثما اتفق مرتكز على السطح المائل فثقله ب يمكن تحليله الى قوتى ك و ف احداهما عمودية على السطح المائل والاخرى موازية له فالاولى تنعدم بمقاومة السطح وتؤثر قوة ف وحدها على جسم م وتقهره على السقوط

ولاجل معرفة مقدار قوة ف يجعل على جـ ب طول هو جـ ش الدال على ثقل ب ويتمم متوازى الاضلاع د جـ ك ش فقوة ف تكون حينئذ مبينة بمقدار د جـ وحيث أن مثلثى د جـ ش وا ب ث متشابهان حيث زواياهما متساوية ينتج

$\frac{د جـ}{جـ ش} = \frac{ب ث}{ا ب}$ أو $\frac{ف}{ب} = \frac{ب ث}{ا ب}$

ويستنتج من هذه المساواة الاخيرة أن قوة ف تكون أكثر صغرا بالنسبة لقوة ب كلما كان ارتفاع ب ث من السطح المائل أكثر صغرا بالنسبة لطول ا ب ويمكن حينئذ صيرورة قوة ف صغيرة أيضا متى أريد وضبط حركة جسم م بحيث يمكن حساب المسافة المقطوعة على السطح المائل فى ثانية أو ثانيتين أو ثلاثة بدون ان تتغير نواميس الحركة حيث ان قوة ف تكون مستمرة وثابتة

وبهذا العمل أورى المعلم غليلى أن المسافات المقطوعة تزداد على حسب مربع الازمان

(المبحث الثالث فى البندول)

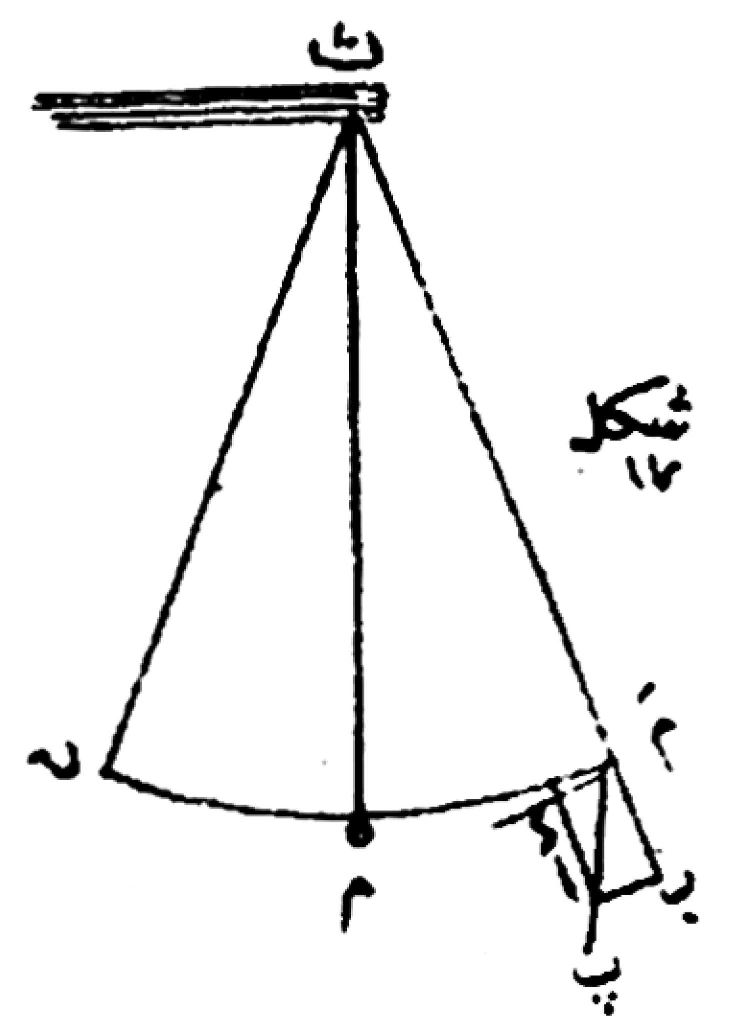
يميز نوعان من البندول البندول البسيط والبندول المركب فالبندول البسيط أو التصورى هو الذى يتكون من نقطة مادية ثقيلة معلقة بخيط غير قابل للتمدد عديم الجرم والثقل فى نقطة ثابتة يتذبذب حولها ذبذبة خالصة أى يتحرك حركة ذهاب واياب كثيرة السرعة أو قليلتها بدون عائق ونوع هذا البندول لا يستعمل الا لتعيين نواميس ذبذبة البندول بالحساب

والبندول المركب هو كل جسم أمكنه التحرك حول نقطة أو محور ثابت ومتى تحرك البندول حول نقطة سميت هذه النقطة مركز التعليق واذا تحرك حول مستقيم أفقى سمى هذا المستقيم محور التعليق والبندول المركب هو الذى يمكن تركيبه باشكال

مختلفة لكنه يتركب على العموم من كتلة معدنية عدسية الشكل أوكروية معلقة في ساق يتحرك حول محور أفقي كبندول الساعة

و يعلق البندول المركب اما بواسطة سكينة مشابهة لسكينة الميزان أو بواسطة صفيحة من صلب رقيقة سهلة الانحناء تنحني انحناء خفيفا في كل حركة

ولاجل حساب حركة ذبذبات البندول نعتبر أولا بندولا بسيطا ث م فيه م النقطة المادية وث مركز التعليق كما في شكل ١٧



فمتى وجدت نقطة م أسفل نقطة ث على الخط الرأسي المار بهذه النقطة كان تأثير التثاقل معدوما لكن اذا انتقلت نقطة م الى مَ تحلل ثقلها ب الى قوتين أحداهما تتجه على حسب استطالة م بَ من الخيط والثانية على حسب المماس مَ د لقوس مَ م ن فقوة مَ ب تنعدم بمقاومة نقطة ث وقوة مَ د تحرك النقطة المادية للنزول من مَ الى م وبوصولها النقطة م لا يقف البندول لانه ينجذب بالنظر للقصور الذاتي في اتجاه م ن وبناء على ذلك اذا كرر ذلك من نقطة حيثما اتفق من قوس م ن كما ابتدئ من نقطة مَ يعرف أن التثاقل الذي أثر من مَ الى م كقوة متزائدة يؤثر من م الى ن كقوة بطيئة و يرفع حينئذ من المتحرك سرعته المكتسبة مدة نزوله و يلزم ان ينقص من السرعة نفس المقدار الذي ازداد من مَ الى م بالضبط بحيث تصير معدومة بالكلية متى ارتفع البندول الى ن أعلى من وضع م في نفس الارتفاع الذي لنقطة مَ و برجوع البندول حينئذ من ن نحو م تحدث عين جميع الظواهر المذكورة و يستمر البندول حينئذ متحركا على الدوام قاطعا أقواسا متساوية من جهتي نقطة م ولكن ليس كذلك في التجارب لان هناك سببين يساعدان بدون انقطاع على

تأخير

تأخير الحركة بل على اعدامها أولهما مقاومة الوسط أى الهواء الذى فيه يتحرك البندول والثانى الاحتكاك الذى يحصل على محور التعليق

نواميس ذبذبات البندول الذبذبة هى مرور البندول من مَ الى ن وقوس مَ ن هو سعة الذبذبة وطول البندول البسيط هو المسافة من نقطة التعليق ث الى النقطة المادية م

و يبرهن فى الميكانيك أن ذبذبات البندول البسيط فى الفراغ منقادة للاربع نواميس الآتية

الاول أن الذبذبات الصغيرة للبندول الواحد تكون متساوية أى تحصل فى أزمان متساوية مادامت سعتها لاتتجاوز بعض حدود كمن درجتين الى ثلاثة وتستمر مساوات الذبذبات الصغيرة للبندول فى الهواء كما تستمر فى الفراغ وفى الواقع قد أورى الحساب أن مقاومة الهواء التى تزيد فى مدة الذبذبة النصفية النازلة تنقص من مدة الذبذبة النصفية الصاعدة كمية مساوية وترجعها لسعتها لكن اذا كان الهواء لايغير تساوى الذبذبات الصغيرة بمقاومته الا أنه يزيد فى مدتها بسبب فقد الثقل الذى يكابده البندول المغمور فى الهواء

الثانى أن البناديل المتساوية الاطوال تكون مدة ذبذباتها فى الفراغ واحدة مهما كان الجسم المتكون منه البندول أعنى أن البناديل البسيطة التى نقطها المادية تكون من خشب الفلين ومن الرصاص ومن الذهب تفعل عددا واحدا من الذبذبات فى زمن واحد اذا كانت أطوالها متساوية

الثالث أن البناديل الغير متساوية الاطوال تكون مدة ذبذباتها فى الفراغ مناسبة لجذر مربع أطوالها أعنى اذا صار طول البندول أكبر ٤ و٩ و١٦ وهكذا تكون مدة ذبذباته ٢ و٣ و٤ وهكذا

الرابع أن مدة ذبذبات البناديل المتساوية الاطوال تكون فى المحلات المختلفة من الارض على حسب عكس جذر مربع شدة التثاقل

طول البندول المركب القوانين المتقدم ذكرها تطبق أيضا على البندول المركب لكن يلزم حينئذ معرفة ما يسمى بطول البندول المركب ولاجل ذلك نلاحظ أن كل بندول مركب متكون من ساق ثقيل منه بكتلة كثيرة الاعتبار أو قليلته والنقط المادية

المختلفة لمجموع ذلك تميل بمقتضى الناموس الثالث للبندول لان تفعل ذبذباتها في أزمان تكون أكثر طولا كلما كانت أكثر بعدا من نقطة التعليق لكن حيث ان جميع هذه النقط مرتبطة ببعضها بالسوية وتفعل بالضرورة ذبذباتها في زمن واحد ينتج من ذلك أن حركة النقط الاكثر قربا من محور التعليق تكون متأخرة بخلاف حركة النقط الاكثر بعدا فانها تكون متزائدة ويوجد حينئذ بين هذين الوضعين نقط لا تكون سريعة ولا بطيئة وتتذبذب كأنها غير متصلة بباقي المجموع

وحيث ان هذه النقط في بعد واحد من محور التعليق فيتكون من مجموعها محور ذبذبة موازٍ للاول فهذه المسافة التي من محور التعليق الى محور الذبذبة هي المسماة بطول البندول المركب أعني أن طول البندول المركب هو طول البندول البسيط الذي يفعل ذبذباته في زمن واحد

ومحور الذبذبة يتم خاصية محور التعليق أعني اذا علق البندول من محور الذبذبة بقيت مدة الذبذبات واحدة وهذا يثبت أن طول البندول لم يتغير وهذه الخاصية تعطي الواسطة لايجاد طول البندول المركب ولاجل ذلك يقلب البندول ويعلق بواسطة محور متحرك يوضع بعد جملة تحسيسات في نقطة ما بحيث أن عدد الذبذبات يكون في الزمن الواحد كما كان فيه قبل الانقلاب ومتى تحصلت هذه النتيجة كان الطول المبحوث عنه هو المسافة من محور التعليق الثاني الى المحور الاول

وطول البندول الذي يضرب الثواني أعني الذي يفعل ذبذبته في ثانية يتغير مع تغير شدة التثاقل فيكون طوله

تحت خط الاستواء	٠٫٩٩١٠٣٣ م	
في باريس	٠٫٩٩٣٨٦٦	
في القطب	٠٫٩٩٦٥٧١	

استعمال البندول يستعمل البندول لاثبات أن قوة التثاقل تحرك جميع الاجسام بشدة واحدة ويستعمل أيضا لتعيين شدة التثاقل في النقط المختلفة من الكرة الارضية واستعمل بالنظر لتساوي ذبذباته منظما للساعات واستعمل لغير ذلك

(الباب الثالث في الكلام على السوائل وفيه فصول)

(الفصل الاول في الايدروستاتيك أي موازنة السائلات وفيه مباحث)

*(المبحث

(المبحث الاول فى القصد من الايدروستاتيك أى موازنة السائلات)

الايدروستاتيك علم غايته دراسة شروط موازنة السائلات وشروط الضغط الذى تحدثه سواء كان على كتلها أو على جدران الاوانى الحاوية لها

والعلم الذى يبحث عن تحرك السائلات يسمى ايدروديناميك وتطبيق علم الايدروديناميك على فن توصيل ورفع المياه يسمى بالايدروليك ولا نتكلم هنا الا على الايدروستاتيك

(المبحث الثانى فى الاوصاف العامة للسائلات)

تقدم فى الكلام على أحوال الاجسام أن السائلات أجسام أجزاؤها منقادة بالنظر لضعف تماسكها الاضعف قوة تميل لتحويلها عن محلها وينتج من ذلك أن هذه الاجسام لا تختص بشكل ثابت وانها مطيعة بلا انقطاع لتأثير التثاقل وتأخذ فى الحال شكل الاوانى التى تنصب فيها

ومع ذلك فسيولتها ليست تامة لانه يوجد دائما بين أجزائها التصاق يحدث لزوجة كثيرة أو قليلة وهذه اللزوجة تتغير من سائل الى آخر وهى معدومة تقريبا فى بعض السوائل كالاتير والكؤول وكثيرة الظهور فى حمض الكبريتيك وفى الزيوت الدسمة وفى المحاليل المشحونة بالسكر أو الصمغ

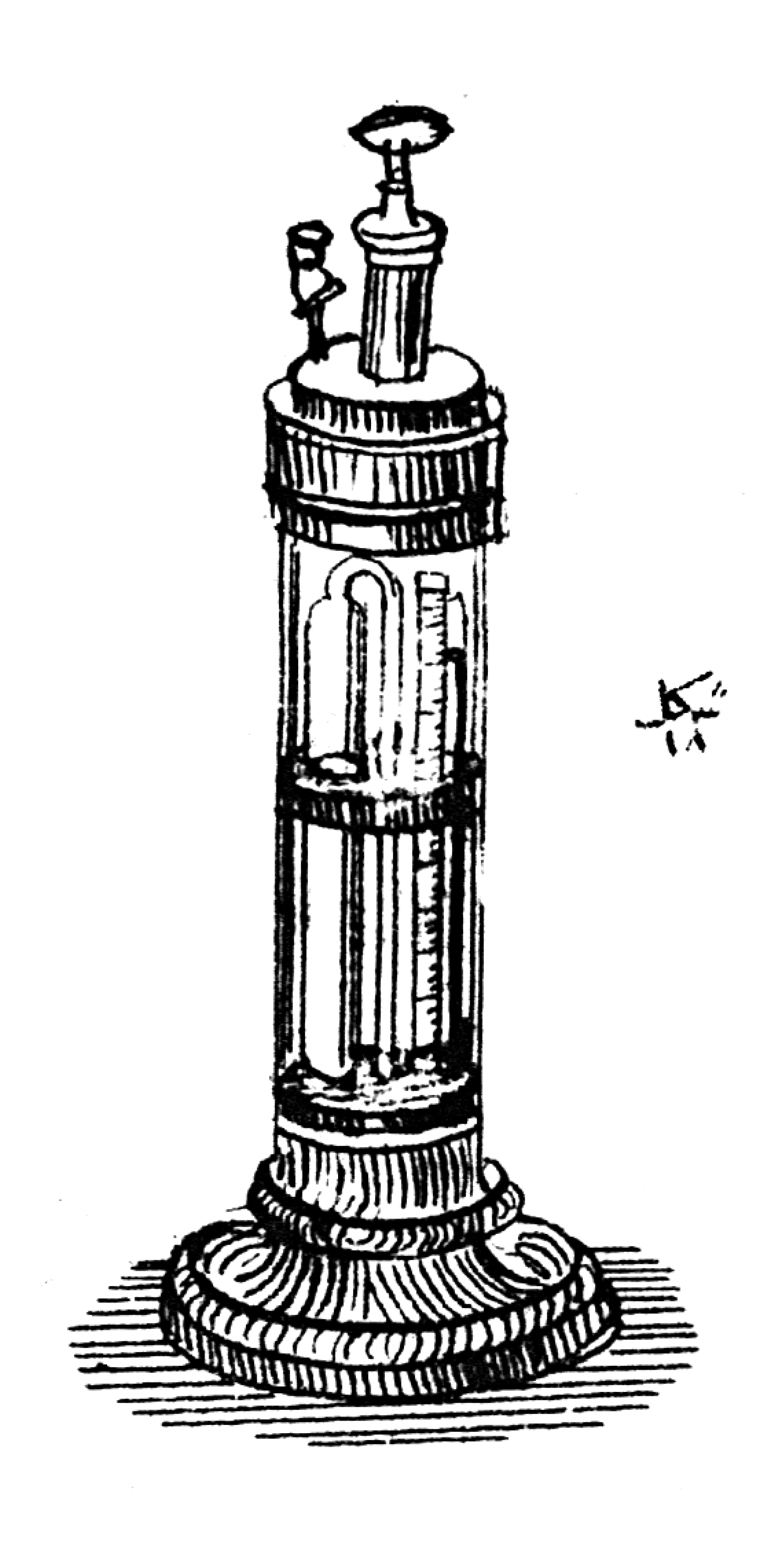
وميوعة السائلات توجد فى أعلى درجة فى الغازات والذى يميز هذين النوعين من الاجسام هو أن السائلات تتصف بقبولية ضغط عسر الظهور ومرونة كذلك بخلاف السوائل الهوائية فانها قابلة للانضغاط والتمدد فى أعلى درجة وتثبت ميوعة السائلات بسهولة سيلانها وأخذها جميع أنواع أشكال الاوانى الحاوية لها وأما ضعف قبولية انضغاطها فيثبت بالتجربة الآتية

(المبحث الثالث فى قابلية انضغاط السائلات)

بمقتضى تجربة أرباب العلوم بفلورانسا المتقدم ذكرها فى الكلام على المسام اعتبرت السائلات زمنا طويلا غير قابلة للانضغاط بالكلية ثم ثبت من التجارب المختلفة التى فعلت فى شأن ذلك أن جميع السائلات قابلة للانضغاط كثيرا وقليلا وسميت الاجهزة المعدة لتقدير انضغاط السوائل بالبيزومتر ونذكر منها هنا جهاز أرستود مع التنوعات

التي فعلها فيه المعلم د يسبيرتز والمعلم سيجي ويتركب هذا الجهاز من اسطوانة من بلور ثخينة الجدران قطرها من ٨ الى ٩ سنتيمتر شكل ١٨

وهذه الاسطوانة التي تملأ بالماء امتلاء تاما مسدودة من قاعدتها بقائمة من النحاس تلحم فيها التحاما قويا بالمصطكى وجزؤها العلوى ينظم بالضبط فى وقاية اسطوانية من النحاس ويسد بقرص يقسم على حسب الارادة وهذا القرص يحمل قمع ر المعد لادخال الماء فى الاسطوانة وجسم طلونبة صغير فيه مكبس محكم الغلق يحرك بواسطة برمة كابسة ب وفى باطن الجهاز حوض من زجاج ا يملأ بالسائل المراد ضغطه وهذا الحوض منته من جزئه العلوى بانبوبة شعرية تنحنى وتنغمر فى الحوض الزئبقى وهذه الانبوبة مقسمة من قبل الى ع أجزاء متساوية السعة ولاجل تعيين عَ من هذه الاقسام المحتوى عليها حوض ا ليكن ب ثقل الزئبق الموجود فى ع أقسام الانبوبة الشعرية فى درجة الصفر



و بَ ثقل الزئبق الموجود فى حوض ا درجة الصفر أيضا فتحصل المساواة

$$\frac{عَ}{ع} = \frac{بَ}{ب} \quad \text{ومن ذلك ينتج} \quad عَ = \frac{بَ ع}{ب}$$

وبالجملة فيوجد فى باطن الاسطوانة مانومتر ذو الهواء المنحصر وهو أنبوبة من زجاج ب طرفها العلوىّ مغلق وطرفها السفلى المفتوح مغمور فى الحوض الزئبقى ومتى لم يفعل أدنى ضغط على الماء المالئ للاسطوانة تكون أنبوبة ب ملآنة بالهواء بالكلية لكن

متى

متى انضغط ماء الاسطوانة بواسطة برمة ب والمكبس انتقل الضغط للزئبق فيرتفع فى أنبوبة ب و يضغط الهواء المنحصر فيها

ومسطرة ث المدرجة الموضوعة بطول هذه الانبوبة تبين نقص حجم الهواء المنضغط وعلى موجب نقص الحجم هذا يعرف مقدار الضغط الواقع على السائل المنحصر فى الاسطوانة ولاجل عمل التجربة بهذا الجهاز يملأ أولا حوض ا بالسائل المراد ضغطه ثم تملأ الاسطوانة بالماء بواسطة قمع ر وتبرم حينئذ برمة ب بحيث ينزل المكبس فينضغط الماء والزئبق الموجودان فى الجهاز و بهذا الضغط يرتفع الزئبق فى أنبوبة ب وفى الانبوبة الشعرية المختومة فى حوض ا كما يدل عليه الشكل وارتفاع الزئبق فى الانبوبة الشعرية يدل على أن السائل المنحصر فى حوض ا نقص حجمه وبه يعرف أيضا مقدار انضغاط السائل حيث علم أن الحوض المذكور يحتوى عَ من أقسام الانبوبة المدرجة

والمعلم ارستود فرض فى تجاربه أن سعة الحوض لا تتغير حيث أن الضغط واقع على جدرانه من الظاهر والباطن على حد سوا لكن أثبت التحليل الرياضى نقص هذا الحجم بتأثير الضغط الظاهرى والباطنى وعلى حسب اعتبار تغير هذه السعة فعلت تجارب المعلم كوللادون واستورم ووجد هذان المعلمان حينئذ فى الضغط المساوى لثقل الهواء الجوى فى درجة الصفر هذا النقص الآتى

زئبق	٠٠٥	من ميليون من الحجم الاصلى
ماء مقطر يحتوى على هواء	٠٤٩	شرحه
ماء مقطر خال عن الهواء	٠٥١	شرحه
اتير كبريتيك	١٣٣	شرحه

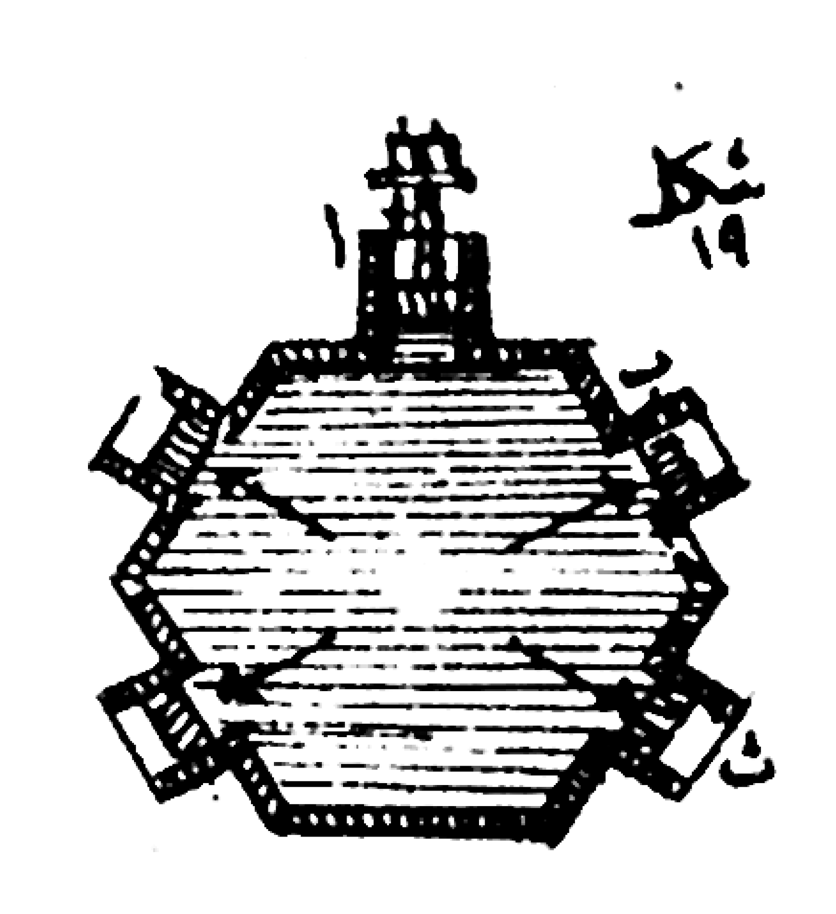
ومهما كان الضغط المعرض له السائل فانه بمجرد زوال الضغط عنه يرجع لحجمه الاصلى كما ظهر من التجربة

(المبحث الرابع فى قانون تساوى الضغط أو قاعدة بسكال)

اذا اعتبرت السوائل تامة المرونة ومتصفة بسيولة تامة وفرض أنها خالية عن التثاقل يتوصل للقاعدة الآتية المعروفة بقاعدة تساوى الضغط و بقاعدة بسكال لانه هو أول من وضعها وهى أن الضغط الواقع على السائل ينتقل فى جميع الجهات بشدة واحدة

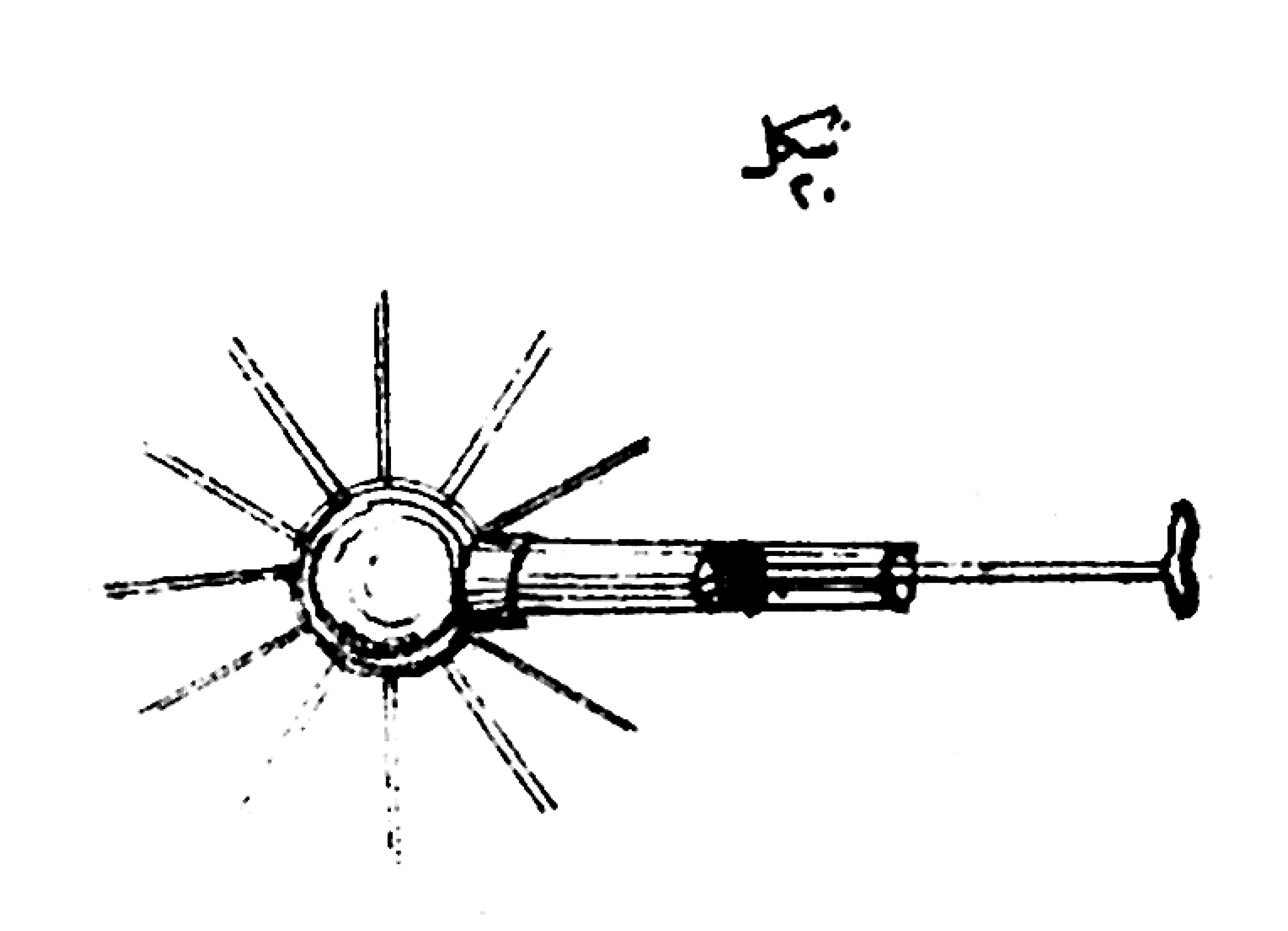
على كل سطح مساو للسطح الواقع عليه الضغط ولاجل توضيح هذه القاعدة نفرض اناء ذا شكل ما ملآن بالماء أو بسائل آخر نفرضه بدون ثقل وعلى جدران الاناء فتحات اسطوانية مختلفة ا ب ث الخ مغلقة بمكابس متحركة شكل ١٩

فاذا أثر على المكبس العلوى ا من الخارج الى الداخل ضغط ما كعشرين كيلوجرام مثلا انتقل هذا الضغط حالا على السطح الداخل لمكابس ب ث الخ ويصير جميعها مدفوعا من الداخل الى الخارج بضغط ٢٠ متى كان سطح كل منها مساويا لسطح المكبس الاول لكن السطح الاكبر من سطح المكبس الاول بمرتين أو ثلاثة يكون الضغط المنتقل عليه ٤٠ أو ٦٠ كيلو جرام أعنى أن الضغط المنتقل يكون متناسبا مع الاسطح التى تقبله



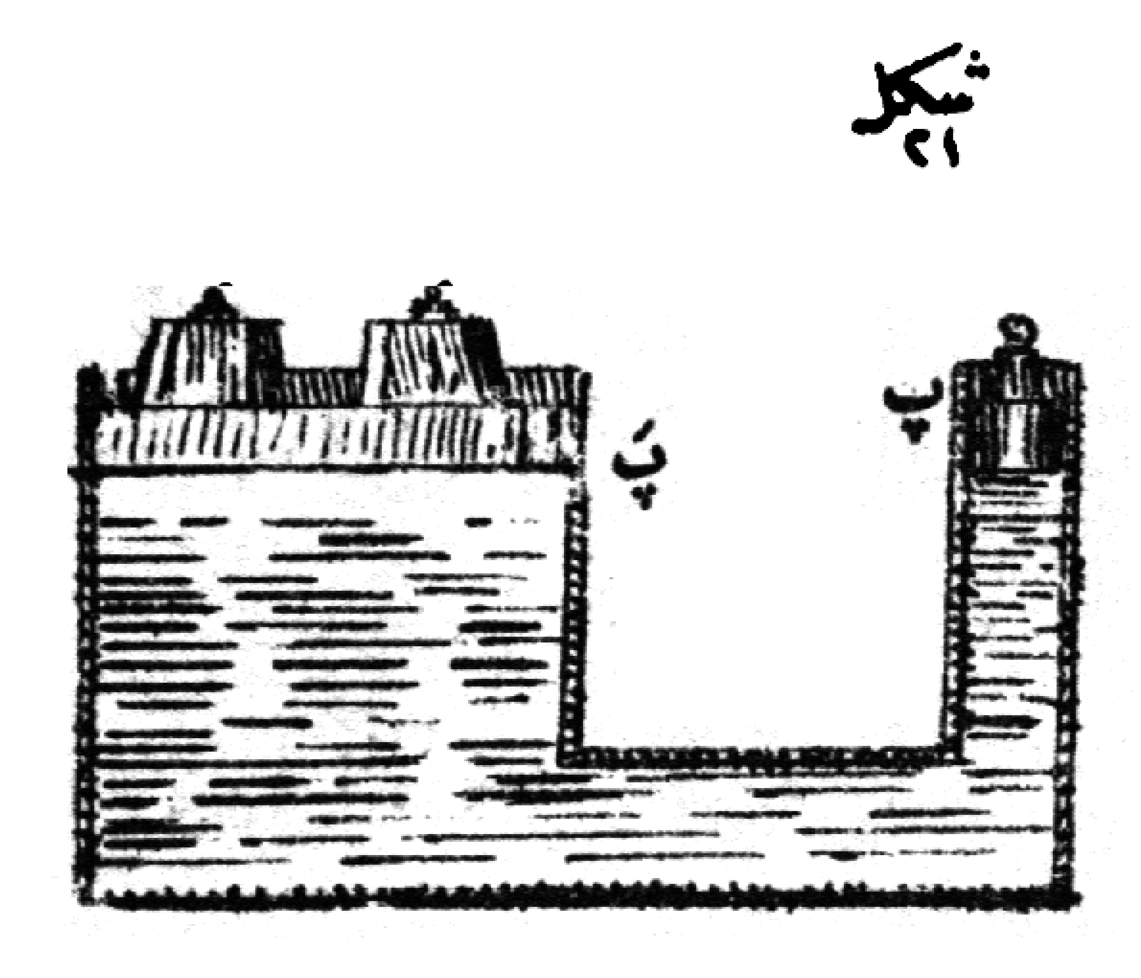
ويمكن بالتجربة الآتية اثبات انتقال الضغط فى جميع الجهات وهى تفعل باسطوانة يتحرك فيها مكبس كما فى شكل ٢٠

منتهية بكرة مجوفة موضوع عليها أنابيب صغيرة اسطوانية عمودية على جدرانها وكل من الكرة والاسطوانة ملآن بالماء فاذا دفع المكبس فى الاسطوانة شوهد خروج الماء من جميع الفتحات وليس فقط من الفتحة المقابلة للمكبس



وأما

وأمّا تناسب الضغط مع الاسطح فلا يمكن ايضاحه بتجربة منتظمة بسبب تأثير ثقل السائلات واحتكاك المكابس ومع ذلك فيتوصل لتحقيق ذلك بالتقريب بالتجربة الموضحة فى شكل ٢١



وهى تفعل باسطوانتين غير متساويتى القطر مستطرقتين بفتحة يملآن بالماء وعلى سطح السائل مكبسان مرتكزان پ پَ يغلقان الاسطوانتين غلقا محكما لكن يمكنهما الانزلاق فيهما باحتكاك لطيف جدًّا والمفروض أنّ سطح المكبس الاكبر قدر سطح المكبس الاصغر ٣٠ مرّة مثلا فاذا وضع على المكبس الاصغر ثقل مّا وليكن ٢ كيلوجرام انتقل الضغط الناتج حالا على الماء وعلى المكبس الاكبر وحيث ان هذا الضغط يكون ٢ كيلوجرام على كل جزء من سطح مساو لسطح المكبس الصغير ينتج من ذلك أن المكبس الكبير يلزم أن يتحمل من أسفل الى أعلى ضغط ثلاثين مرّتين أو ٦٠ كيلوجرام وفى الواقع اذا وضع على المكبس الكبير هذا الثقل يشاهد ثبات الموازنة لكن ان وضعت أثقال اكثر أو أقلّ انقطعت الموازنة فاذا رمزنا بحرف س للسطح الاكبر وسَ للسطح الاصغر من المكبسين أمكن أن نوضح

$\frac{پ}{پَ} = \frac{س}{سَ}$ وينتج من ذلك $پ = \frac{پَ س}{سَ}$

وفى جميع ما يأتى على الضغوط المنتقلة بالسوائل على جدران الاوانى الحاوية لها يلاحظ أنّ هذه الضغوط يلزم أن تكون دائما مفروضة عمودية على الجدران وهو الواقع لان كل ضغط منحرف يمكن تحليله الى ضغطين أحدهما عمودى على الجدران والثانى متجه على سطحه وحيث ان هذا الضغط الاخير ليس له تأثير على الجدران فيكون الضغط العمودى هو المعتبر فقط *(تنبيه)* جميع ما قيل بخصوص قاعدة بسكال لا يختص بجدران الاوانى فقط بل بأجزاء السائلات فى أىّ نقطة من كتلها

(الفصل الثانى فى الضغط المتزائد فى السوائل بالتثاقل)

(وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى الضغط الرأسى من أعلى الى أسفل ونواميسه)

اذا كان السائل فى اناء وفى حالة السكون وفرض أنه منقسم الى طبقات أفقية متساوية الثخن كان من الواضح أن كل طبقة تحمل ثقل الطبقات التى تعلوها ويحدث تأثير التثاقل حينئذ فى كتلة السائل ضغوطا باطنية مختلفة من نقطة الى أخرى وتكون هذه الضغوط معرّضة للنواميس الآتية

الاول أنّ الضغط على كل طبقة يكون مناسبا للعمق

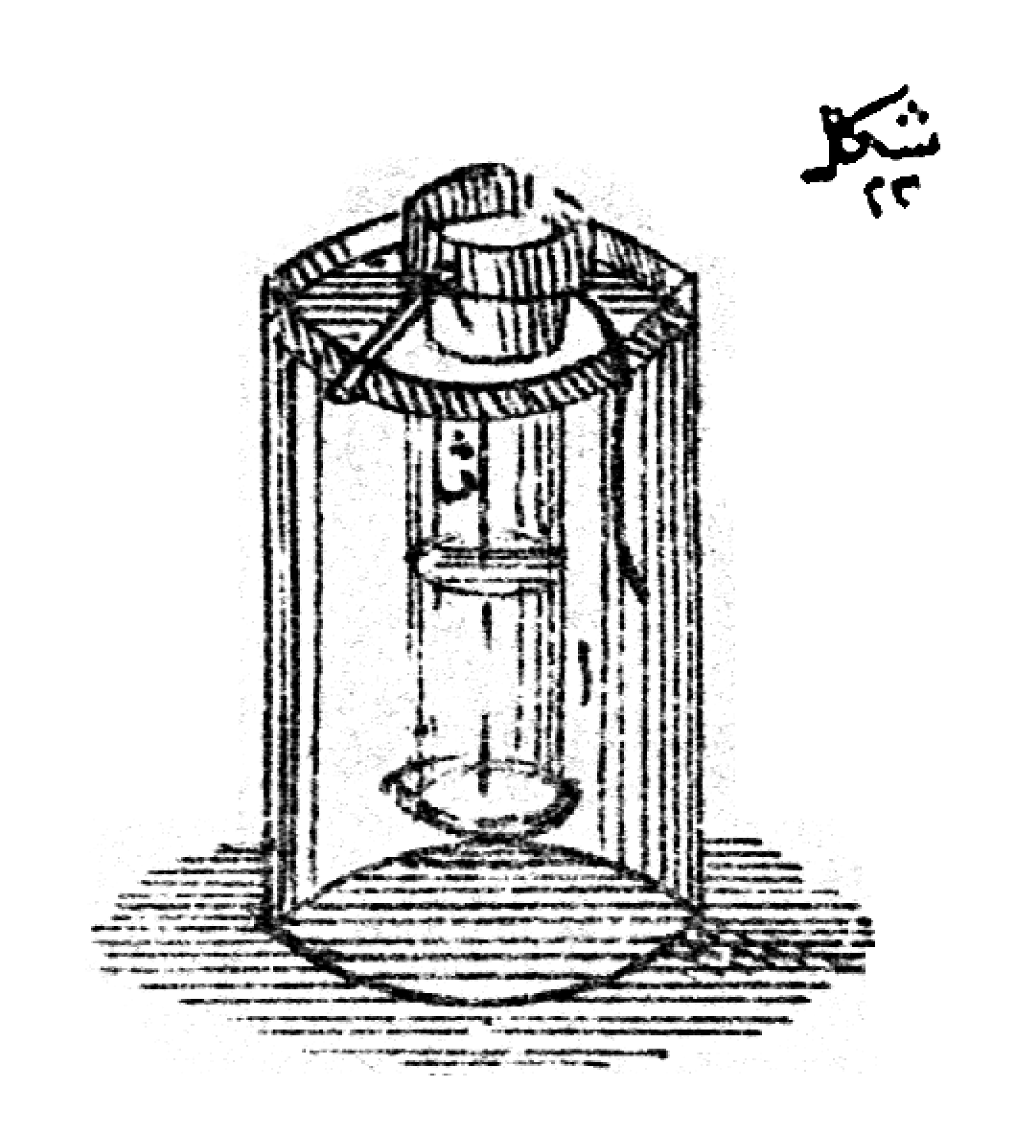
الثانى اذا كان العمق واحدا والسوائل مختلفة كان الضغط مناسبا لكثافة السائل

الثالث أنّ الضغط يكون واحدا على جميع نقط الطبقة الواحدة الافقية

(المبحث الثانى فى الضغط الرأسى من أسفل الى أعلى)

الضغط الذى تحدثه طبقات السائل العليا على طبقاته السفلى يولد فى هذه الطبقات من أسفل الى أعلى تأثيرا مساويا ومضادا وهو نتيجة قاعدة انتقال الضغط فى جميع الجهات والضغط من أسفل الى أعلى هذا يسمى بدفع السائلات ويكون كثير الوضوح عند غمر اليد فى سائل كثير الكثافة كالزئبق ولاجل اثباته بالتجربة تستعمل أنبوبة من زجاج مفتوحة الطرفين شكل ٢٢

وبعد

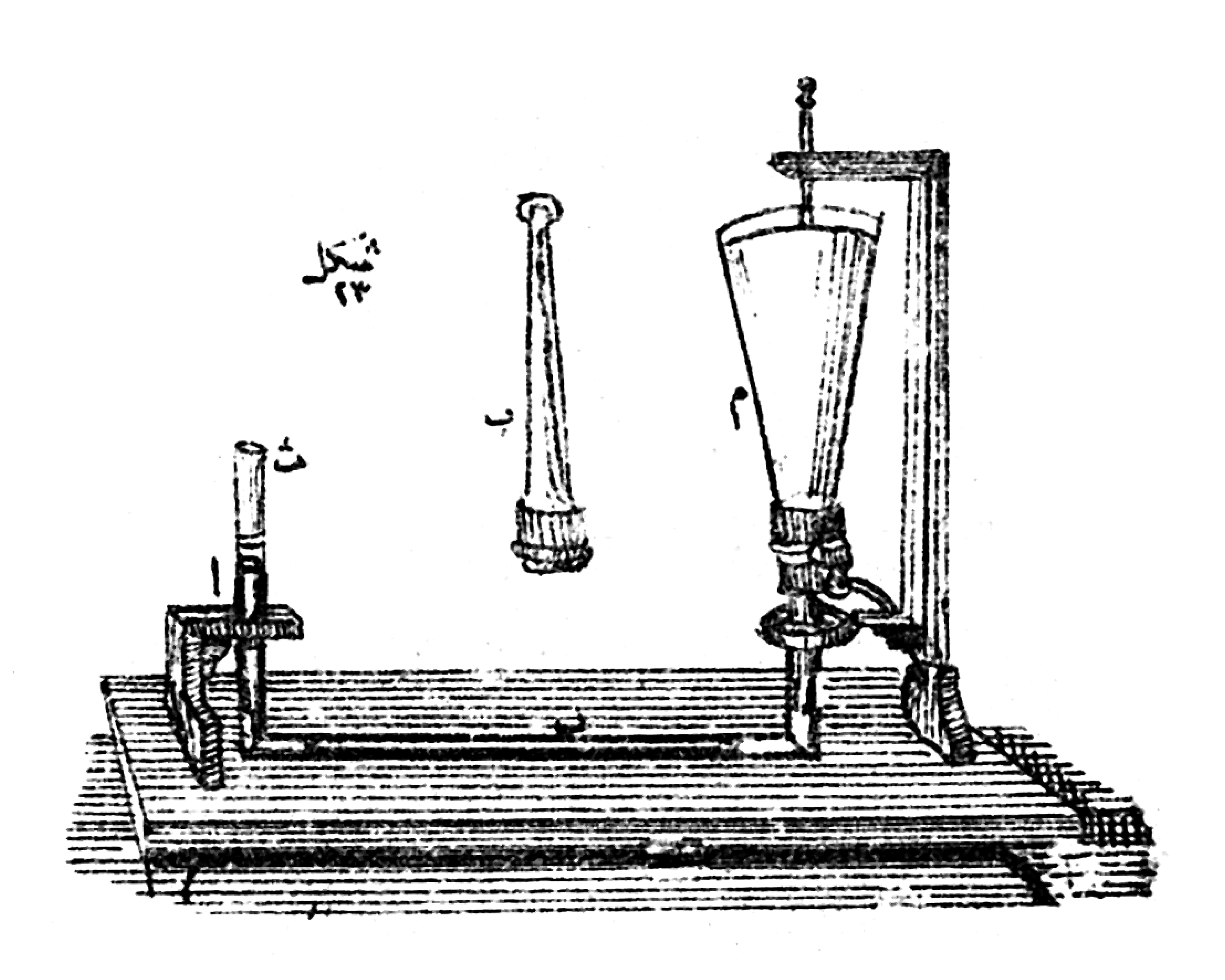


وبعد وضع القرص الزجاج والمستعمل سدادة داخل الطرف السفلى للانبوبة وامساكه بواسطة خيط ث المثبت فيه يغمر الجميع فى الماء ثم يترك الخيط ونفسه فيمكث القرص حينئذ موضوعا بين طرف الانبوبة وهذا يدل على أنه تحمل من أسفل الى اعلى ضغطا يزيد على ثقله وأخيرا اذا صب الماء فى الانبوبة شيأ فشيأ تحمل القرص ثقل هذا السائل ولا يسقط الا فى الزمن الذى فيه يتساوى ارتفاع الماء الباطنى مع الماء الظاهرى وهذا يثبت أن الضغط من أسفل الى أعلى الواقع على القرص مساو لثقل عمود من الماء قاعدته القطاع الداخلى لانبوبة ا وارتفاعه البعد الرأسى من القرص الى السطح العلوى للسائل المغمورة فيه الانبوبة وينتج من ذلك أن دفع السائل فى نقطة مّا من كتلته يكون منقادا للثلاثة قوانين التى للضغط الرأسى من أعلى الى أسفل

(المبحث الثالث فى عدم تعلق الضغط بشكل الاوانى)

الضغط الحاصل من سائل بالنظر لثقله على نقطة مّا من كتلته أو على جدران الاناء الحاوى له يتعلق كما تقدم فى الضغط الرأسى من أعلى الى أسفل بعمق وكثافة السائل ولا يتعلق بشكل الاناء ولا بكمية السائل

وهذه القاعدة يمكن اثباتها بالتجربة بجملة أجهزة نذكر منها هنا فقط جهاز هالدات شكل ٢٣



وهو يتركب من أنبوبة معوجة الطرفين ا ب ث منتهية فى ا بحنفية من نحاس يمكن أن يثبت عليها بالتوالى اناء م ب ارتفاعهما واحد لكنهما مختلفا الشكل والسعة فالاوّل يكون مخروطيا والثانى يقرب للاسطوانية

ولاجل عمل التجربة يبتدأ بصب الزئبق فى أنبوبة ا ب ث بشرط أن لا يصل استواؤه لحنفية ا وحينئذ يثبت على الانبوبة اناء م ويملأ بالماء فيدفع الماء بثقله الزئبق ويرفعه فى شعبة ث التى فيها يعلم ارتفاعه بواسطة حلقة ا التى يمكنها الانزلاق بطول الشعبة المذكورة ويعلم كذلك استواء الماء فى اناء م بواسطة ساق متحرّك وموضوع أعلاه ومتى فعل هكذا يفرّغ اناء م بواسطة الحنفية ويفك ويعوّض باناء ب فبصب الماء فى هذا الاناء يشاهد ان الزئبق الذى كان أخذ ارتفاعه الاوّل فى شعبتى أنبوبة ا ب ث ارتفع ثانيا فى أنبوبة ث وفى الزمن الذى فيه يصل الماء فى اناء ب لنفس الارتفاع الذى كان له فى اناء م كما يعرف ذلك بواسطة ساق ويأخذ الزئبق فى أنبوبة ث نفس الاستواء الذى كان له فى الحالة الاولى كما تدل عليه حلقة ا ويستنتج من ذلك أن الضغط المنتقل للزئبق فى الحالتين فى اتجاه ا ب ث يكون واحدا ويكون هذا الضغط حينئذ غير متعلق بشكل الاناء ولا بكمية السائل

وينتج

و ينتج من التجربة المتقدمة أنه يمكن بكمية قليلة من السائل احداث ضغط عظيم ولاجل ذلك يكفي أن يثبت في جدار اناء مغلق ملآن بالماء أنبوبة ذو قطر صغير وارتفاع عظيم فمتى ملئت هذه الانبوبة بالماء كان الضغط المنتقل على جدار الاناء مساويا لثقل عمود من الماء قاعدته هذا الجدار وارتفاعه مساو لارتفاع الانبوبة ويمكن حينئذ صيرورته عظيما متى أريد وقد وصل بسكال الى تمزيق برميل متين التركيب بخيط من الماء ارتفاعه عشرة أمتار وبمقتضى القاعدة التي أوضحناها يمكن بسهولة حساب الضغوط التي تحدث في قاع البحار وفي الواقع سنشاهد عن قريب أن ضغط الجو يعادل ضغط عمود من الماء ارتفاعه عشرة أمتار وحيث أن البحارة تشاهد في الغالب أن المجس لا يصل لقاع البحار في عمق ٤٠٠٠ متر يكون هذا حينئذ ضغطا أكثر بار بعمائة مرة من ضغط الجو المؤثر في قاع بعض البحار

(المبحث الرابع في الضغط على الجدران الجانبية)

الضغوط التي يحدثها التثاقل في كتلة السوائل تنتقل في جميع الجهات بمقتضى قاعدة بسكال وينتج من ذلك على كل نقطة من الجدران الجانبية للاواني ضغوط منقادة للقوانين المتقدمة في الضغط الرأسي من أعلى الى أسفل وتأثيرها دائما عمودي على الجدران مهما كان شكلها لانه تقدم في قاعدة بسكال أن كل ضغط منحرف على الجدران يتحلل الى ضغطين أحدهما عمودي على الجدران وهو المحدث للضغط والثاني مواز ولا يحدث أدنى تأثير وناتج الضغط الاول هو الذي يحدث الضغط الكلي على الجدران لكن بازديادهذه الضغوط بالنسبة للعمق وبالنسبة لاتساع الجدران لا يمكن ايجاد ناتجها الا بالحساب الذي يورى أن الضغط الكلي على جزء معلوم من الجدران يكون مساويا لثقل عمود السائل الذي قاعدته هذا الجزء من الجدران وارتفاعه المسافة الرأسية من مركز تثاقله الى سطحه الخالص

ونقطة التعليق لهذا الضغط الكلي المسماة بمركز الضغط تكون دائما أنزل قليلا من مركز تثاقل الجدران وفي الواقع اذا كانت الضغوط الحاصلة على النقط المختلفة من الجدران متساوية بين بعضها كان من الواضح أن نقطة تعليق ناتجها أعني مركز الضغط منطبق على مركز تثاقل هذه الجدران لكن حيث أن هذه الضغوط تزداد مع العمق يوجد مركز الضغط ضرورة منخفضا تحت مركز التثاقل ويتعين وضع هذه النقطة بالحساب الذي

يوصل للنتائج الآتية الاولى اذا كانت الجدران قائمة الزوايا وحافتها العليا مستوية مع الماء كان مركز الضغط موضوعا من أعلى الى أسفل على ثلثى الخط الضام لوسط جوانبه الافقية الثانية اذا كانت الجدران مثلثة الزوايا وقاعدتها أفقية مستوية مع الماء كان مركز الضغط فى وسط الخط الضام لقمة المثلث مع وسط هذه القاعدة الثالثة اذا كانت الجدران مثلثة الزوايا أيضا وقتها هى المستوية مع الماء وقاعدتها أفقية وجد مركز الضغط على الخط الضام لوسط هذه القاعدة بالقمة وفى ثلاثة أرباعه بالذهاب من القمة

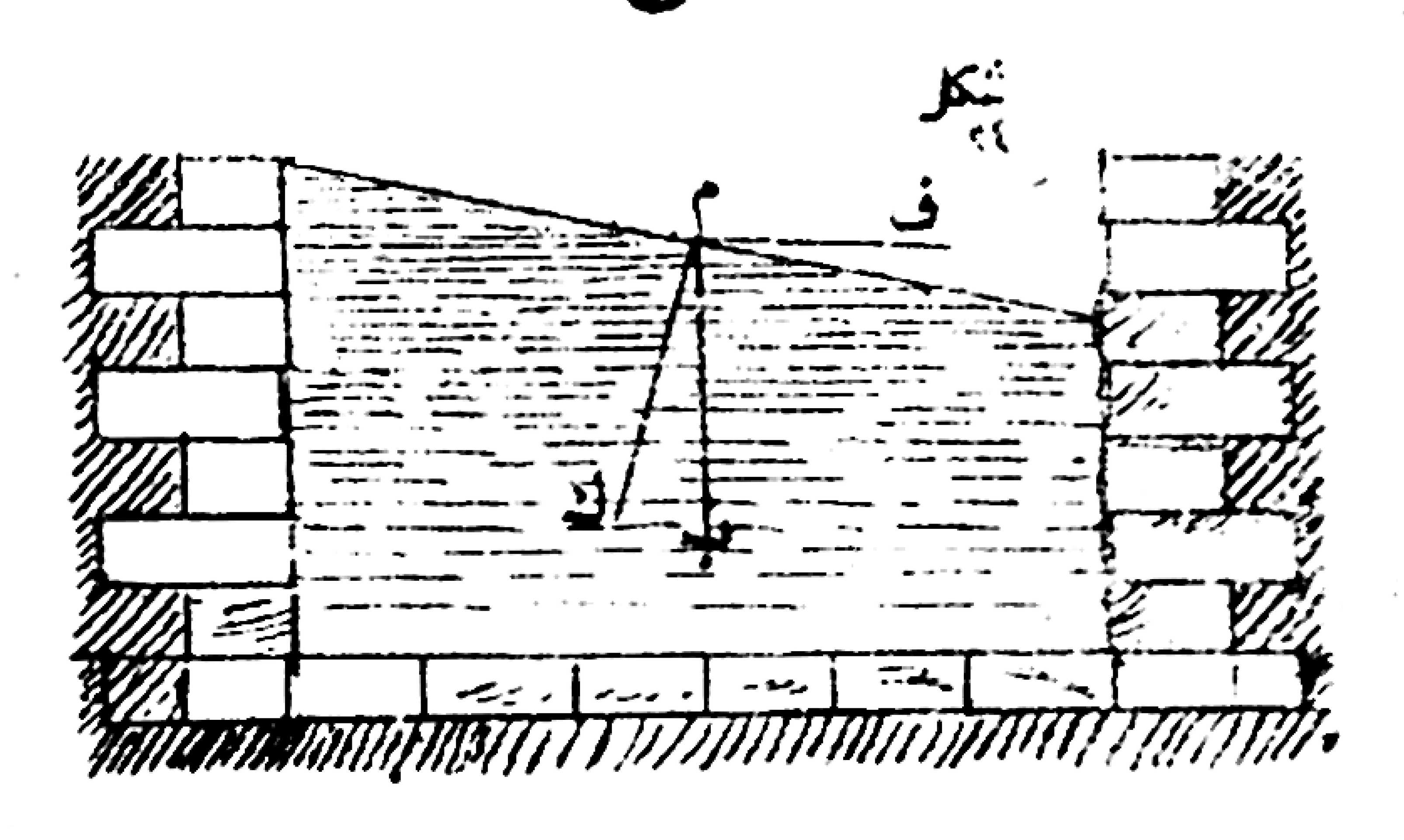
فتى كان السائل متوازنا فى اناء حدث على الجدران المتضادة على حسب كل طبقة أفقية ضغوط متساوية ومتضادة اثنين اثنين يتلف بعضها بعضا بحيث لا يظهر حينئذ وجود هذه الضغوط لكنها تحقق بواسطة البارم الايدروليكى

(الفصل الثالث فى شروط موازنة السائلات)

(وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى موازنة سائل فى اناء واحد)

لاجل أن يبقى السائل متوازنا فى اناء ذى شكل مّا يلزم أن يستوفى الشرطين الآتيين الاول يلزم أن يكون سطح السائل فى جميع نقطه عموديا على اتجاه ناتج القوى المحركة لجزيئاته الثانى يلزم أن كل جزء يكابد من جميع الجهات ضغوطا متساوية ومتضادة ولاجل اثبات ضرورية الشرط الاول نفرض أن م ب يدلان على اتجاه ناتج القوى المحركة لجزء مّا مثل م من السطح كما فى شكل ٢٤



وليكن هذا السطح مائلا بالنسبة لقوة م ب فهذه القوة يمكن تحليلها حينئذ الى قوتى م ك وم ف الاولى عمودية على سطح السائل والثانية على اتجاه م ب وحيث ان

الاولى

الاولى تنعدم بمقاومة السائل فالثانية هى التى تجذب الجزء فى اتجاه م ف ويثبت من ذلك عدم امكان الموازنة واذا كانت القوة المحركة للسائل هى التثاقل كان اتجاه م ب رأسيا وحينئذ يلزم لحصول الموازنة أن يكون السطح الخالص للسائل مستويا وافقيا (كما تقدم فى اتجاه التثاقل الرأسى) اذا كان السائل منحصرا فى اناء أو فى حوض قليل الاتساع حيث يكون اتجاه التثاقل حينئذ واحدا فى كل نقطة لكن لا يكون كذلك سطح السائل الكثير الاتساع كسطح البحار وفى الواقع حيث من اللزوم أن هذا السطح يصير فى كل محل عموديا على اتجاه التثاقل واتجاه التثاقل يتغير من محل الى آخر لتوجهه دائما جهة مركز الارض ينتج من ذلك تغير اتجاه سطح البحار عند تغير اتجاه التثاقل ويأخذ شكلا كرويا

ولاجل الاثبات بالتجربة أن خيط الرصاص يكون عموديا فى كل محل على سطح السوائل المتوازنة فيمسك خيط الرصاص باليد كما تقدم فى شكل ٨ وتغمر كرته فى اناء مملوء بالماء فيشاهد حينئذ فى الماء صورة الخيط على خط مستقيم مع الخيط بالضبط وهذا لا يحصل أبدا اذا كان الخيط مائلا على سطح السائل

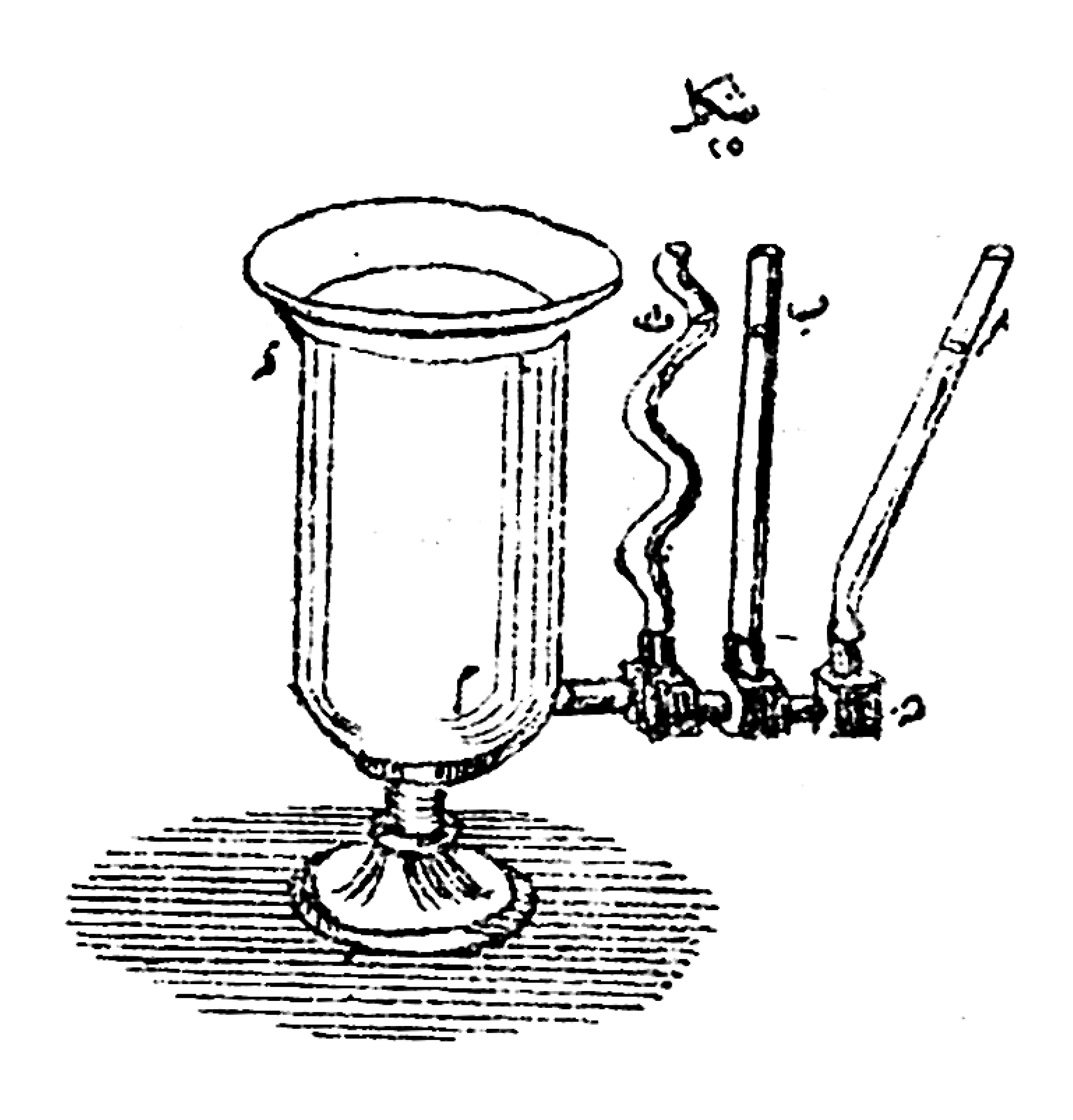
وأما الشرط الثانى من الموازنة فهو واضح من نفسه لانه اذا كانت الضغوط المؤثرة على جزء ما فى اتجاهين متضادين غير متساوية ومتضادة انجذب الجزء فى اتجاه اكثرها ضغطا ولا تحصل الموازنة وهذا الشرط الثانى نتيجة قاعدة تساوى الضغط ونتيجة التأثير الذى يولده كل ضغط فى كتلة السائل ويمكن التعبير عن ذلك بأن يقال ان الضغوط الرأسية فى السائل المتوازن تكون متساوية على جميع نقط الطبقة الافقية وفى الواقع حيث ان هذه الطبقة وجميع أجزائها موازية لسطح السائل الخالص وكائنة فى عمق واحد تحمل ضغوطا متساوية كما تقدم فى الضغط الرأسى من أعلى الى أسفل

(المبحث الثانى فى موازنة سائل فى عدة أوان مستطرقة ببعضها)

متى كانت عدة أوان ذات شكل ما محتوية على سائل واحد ومستطرقة ببعضها فلا تحصل الموازنة الا اذا استوفى السائل فى كل اناء الشرطين المتقدمين وزيادة على ذلك تكون أسطح السائل المختلفة الخالصة فى جميع الاوانى موضوعة فى سطح واحد أفقى

ولتكن الاوانى المختلفة ا ب ث د المستطرقة ببعضها شكل ٢٥

شكل ٢٥



فاذا توهمنا فى أنبوبة الاستطراق م ن طبقة سائل رأسية فهذه الطبقة لا تبقى فى الموازنة الا اذا كانت الضغوط الواقعة عليها من م نحو ن ومن ن نحو م متساوية ومتضادة لكن شاهدنا فى الضغوط على الجدران الجانبية أنّ هذه الضغوط تكون مساوية لثقل عمود من الماء قاعدته الطبقة التى اعتبرناها وارتفاعه البعد الرأسى من مركز تثاقلها الى سطح السائل الخالص واذا توهمنا حينئذ سطحا أفقيا م ن مارا بمركز تثاقل هذه الطبقة شاهدنا أن الموازنة لا توجد الا اذا كان ارتفاع السائل الاعلى من هذا السطح واحدا فى كل اناء وهذا هو الذى يثبت القاعدة

(المبحث الثالث فى موازنة جملة سوائل موضوعة على بعضها)

متى كانت جملة سوائل مختلفة موضوعة على بعضها فى اناء واحد يلزم لحصول الموازنة أن كلا منها يستوفى الشروط اللازمة مثل ما اذا كان سائل واحد كما تقدم فى موازنة سائل فى اناء واحد وزيادة على ذلك يلزم لاجل ثبات الموازنة أن تأخذ السوائل وضعا على حسب ترتيب كثافتها بالتناقص من أسفل الى أعلى ويثبت هذا الشرط الاخير بالتجربة بواسطة زجاجة طويلة ضيقة محتوية على زئبق وماء متشبع بكربونات البوتاسا وكؤل ملون بالحمرة وزيت نفط فتى رجت الزجاجة اختلطت الاربعة سوائل لكن بمجرد ترك الزجاجة للهدو يرسب الزئبق الاكثر ثقلا فى القاع ثم يرسب أعلى الزئبق على التوالى

الماء

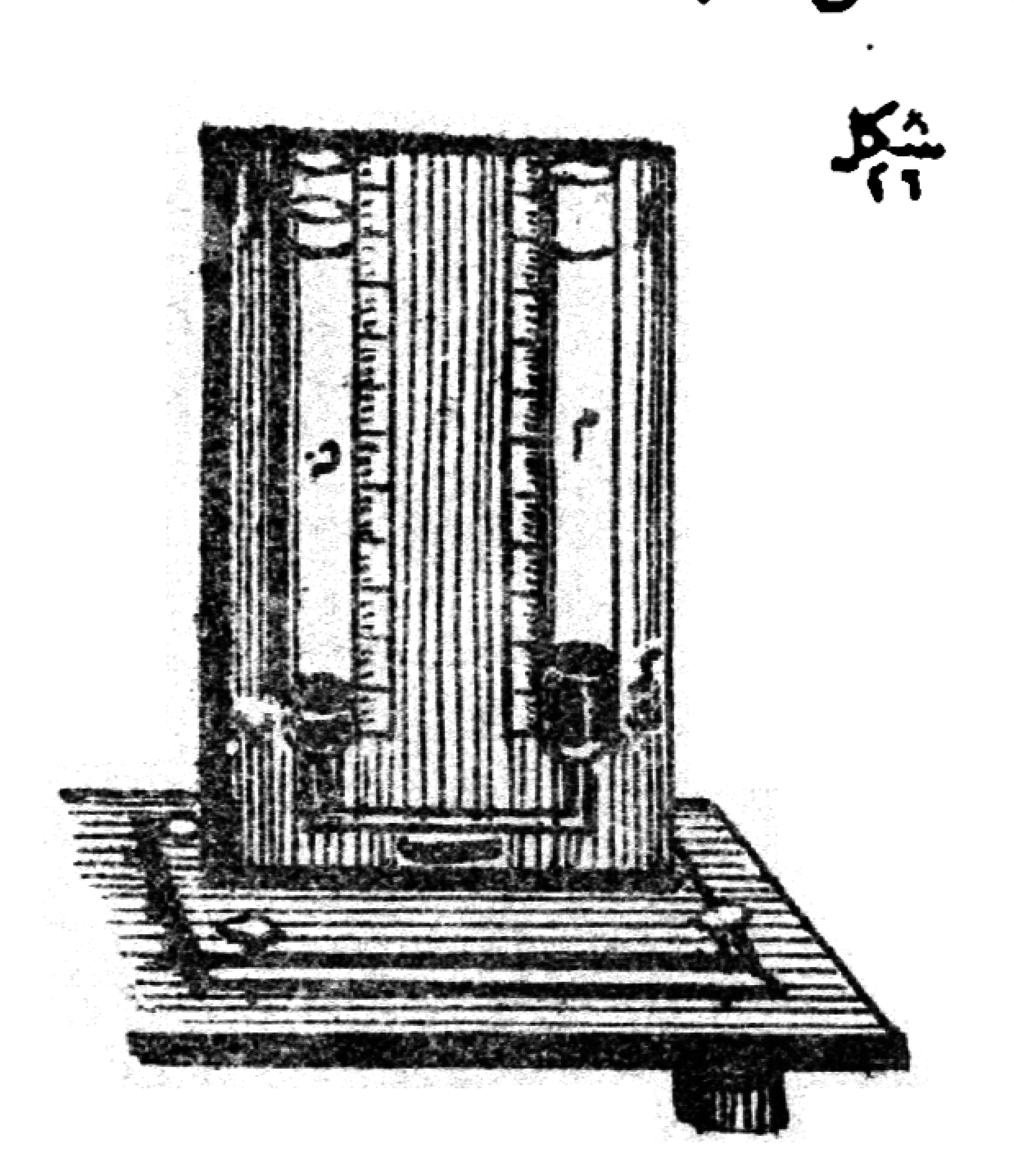
الماء والكؤل وزيت النفط كما هو حقيقة ترتيب الكثافة المتناقصة لهذه السوائل ولاجل عدم مزج الماء بالكؤل شبع بكربونات البوتاسا الغير قابل للذوبان في الكؤل

ويلزم نسبة انفصال السوائل في التجربة المذكورة لاختلاف كثافتها كما اذا غمرت الاجسام الصلبة في سائل أكثف منها فانها تعوم على سطحه وبهذا السبب يعلو الماء العذب على ماء البحر الملح في فم الانهر وتنفصل القشطة التي هي اقل كثافة من اللبن عنه شيأ فشيأ وتصعد على سطحه

(المبحث الرابع في موازنة سائلين مختلفين في انائين مستطرقين ببعضهما)

متى كان سائلان مختلفا الكثافة وليس لاحدهما تأثير كيماوي على الآخر محصورين في انائين مستطرقين ببعضهما ينبغي أن يضاف على شروط الموازنة السابق معرفتها أن ارتفاع عمودي السائلين الفاعلين للموازنة يلزم أن يكون على حسب عكس كثافة السائلين

ولاثبات هذه القاعدة بالتجربة تؤخذ أنبوبتان من زجاج م ن منضمتان بأنبوبة صغيرة القطر ومثبتتان على لوح رأسي شكل ٢٦


شكل ٢٦

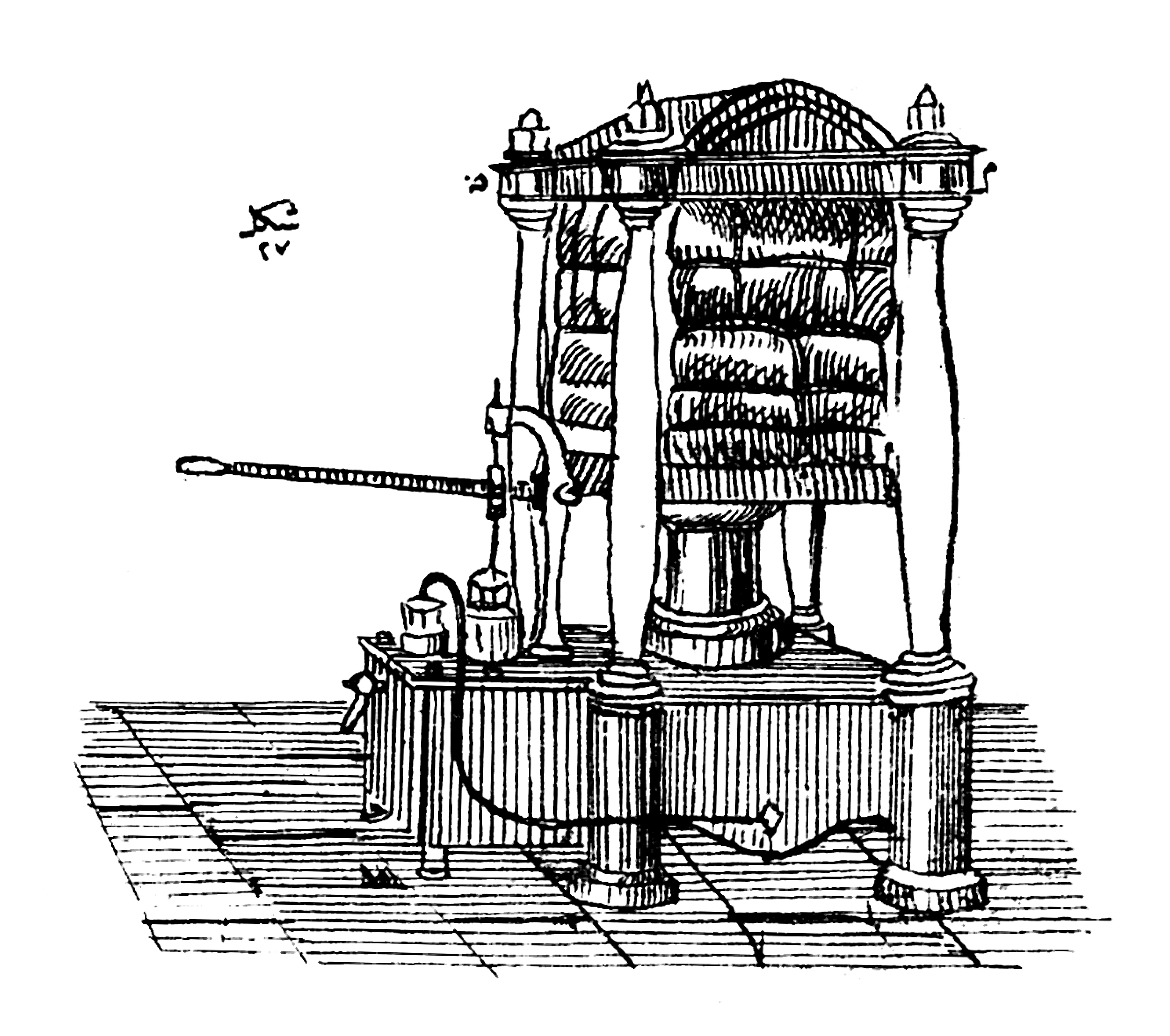
ويصب فيهما الزئبق ثم الماء في شعبة ا ب فيحدث عمود الماء ا ب في ب ضغطا على الزئبق فينخفض استواؤه في شعبة ا ب ويرتفع في الشعبة الاخرى بمقدار ث د فاذا توهم بعد انتظام الموازنة في ب سطح أفقي ب ث وازن عمود الماء ا ب عمود الزيبق د ث وبقياس ارتفاعي د ث و ا ب بواسطة المسطرتين الثابتتين الموازيتين للانبوبتين يوجد أن الاول أصغر من ا ب بثلاث عشرة مرة ونصف وحيث أنه سيشاهد عن قريب ان كثافة الزئبق اكثر من كثافة الماء بثلاث عشرة مرة ونصف تكون حينئذ الارتفاعات على حسب عكس الكثافة

ويمكن استعمال هذه القاعدة لتعيين كثافة السوائل وفي الواقع اذا فرض أن أحد الشعبتين المتقدمتين محتوعلى الماء والآخر على زيت وكان ارتفاع عمودي السائلين الفاعلين للموازنة ٣٨ سنتيمتر للزيت و٣٥ للماء وحيث ان كثافة الماء مأخوذة وحدة وعبرنا بحرف س عن كثافة الزيت يتحصل ٣٨ × س = ٣٥ × ١ وينتج من ذلك س = $\frac{٣٥}{٣٨}$ = ٠,٩٢١

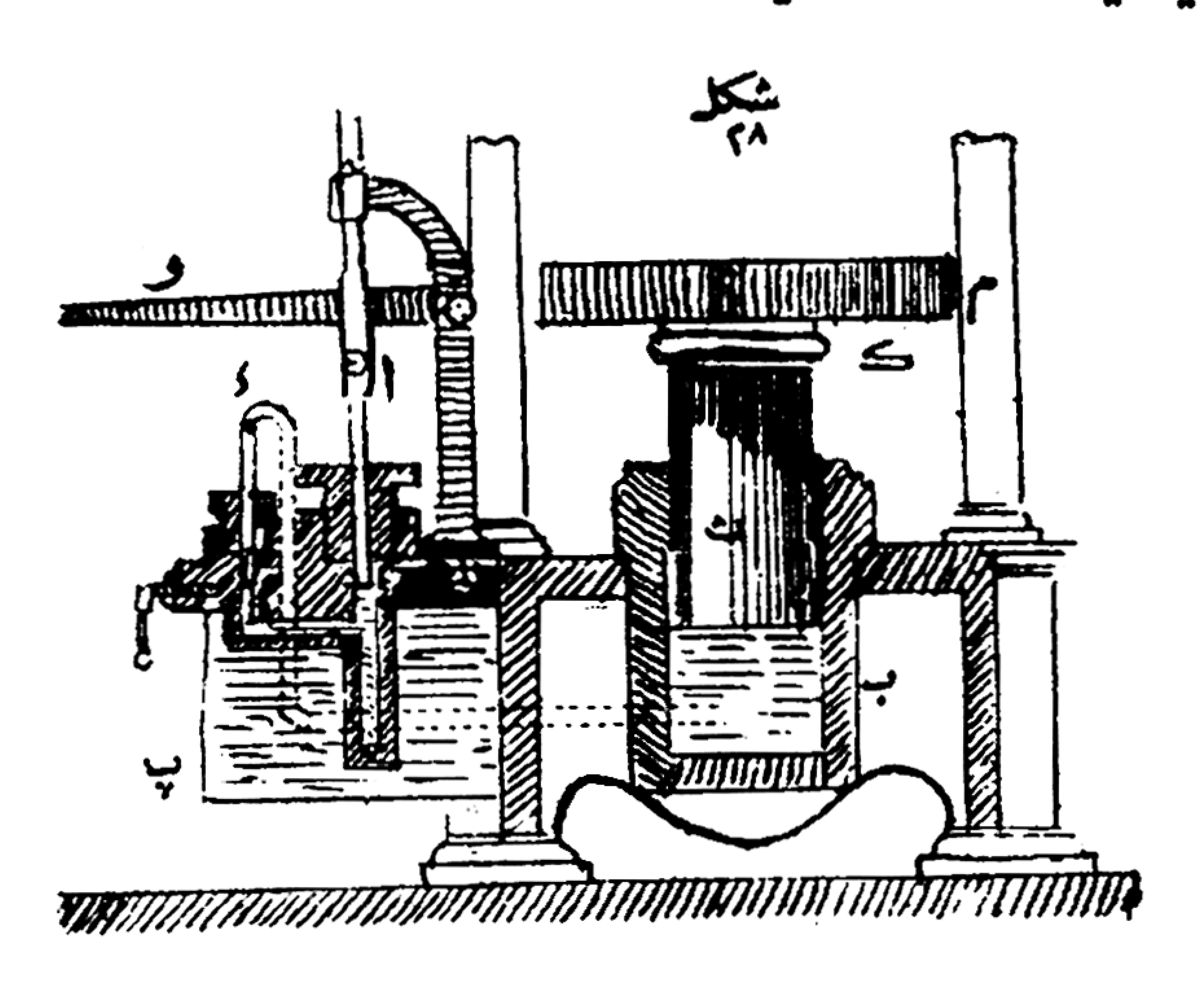
(الفصل الرابع في استعمال قواعد الايدروستاتيك وفيه مباحث)

(المبحث الاول في المعصرة الايدروليكية)

قاعدة موازنة الضغط المتقدمة لها استعمال مهم في المعصرة الايدروليكية المنسوب أصل اختراعها الى بسكال لكن أول من ركبها بلندرة سنة ١٧٩٦ هو المعلم براماه وهذا الجهاز الذي بواسطته يمكن احداث ضغط شديد بجمعه من الزهر وشكل ٢٧ يوريه بتمامه

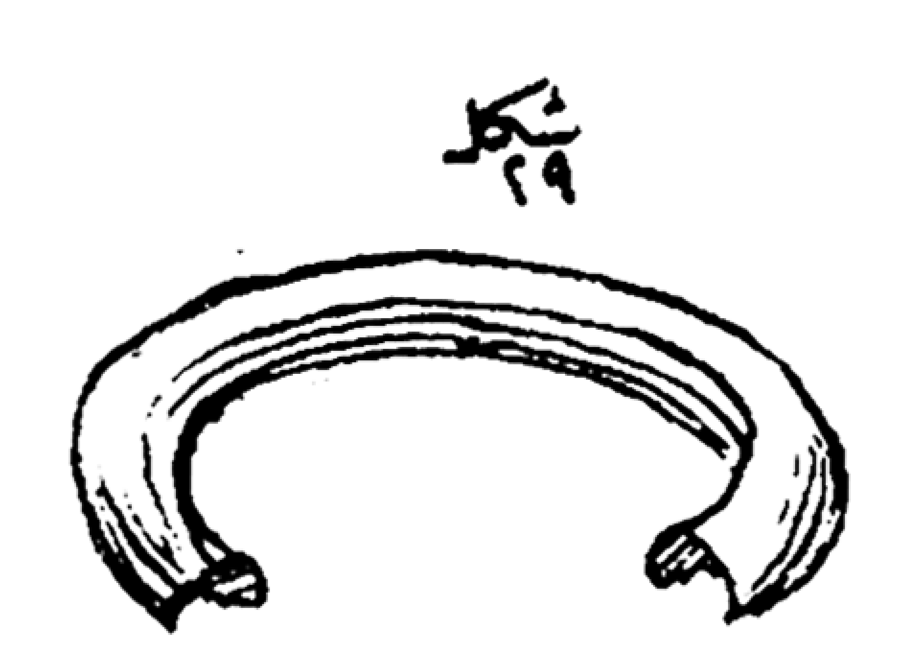


وشكل ٢٨ يوريه مقطوعا رأسيا



ففى جسم طلونبة ب العظيم القطر المتين الجدران تصعد وتنزل اسطوانة ث باحتكاك لطيف متممة لوظيفة مكبس ومثبت عليها صينية ك تنزل وتصعد معها بين الاربعة عمد الحاملة لصينية م ن الثابتة وبين هاتين الصينيتين توضع الاشياء التى يقصد عصرها أو ضغطها

أما صعود مكبس ث شكل ٢٨ فيحصل بواسطة طلونبة ا التى تجذب الماء من حوض ب وتدفعه فى اسطوانة ب بتحريك مكبسها ا بواسطة رافعة و فمتى ارتفع المكبس انفتح الصمام ودخل الماء فى جسم طلونبة ا ثم بنزوله ثانيا ينغلق هذا الصمام ويرتفع فى الحال الصمام الثانى م الذى كان مغلقا مدة صعود المكبس بضغط الماء الواقع عليه من أسفل الى أعلى ويندفع الماء بواسطة أنبوبة د الى جسم طلونبة ب وحينئذ يكتسب ضغطا كثيرا كلما كان سطح مكبس ث اكثر عظما بالنسبة لسطح مكبس ا وفى الجهاز قطعة يجب توضيحها وهى جلدة ثخينة متشربة لزيت لاينفذ منها الماء تستعمل لغلق جسم طلونبة ب غلقا محكما وهذه الجلدة المنحنية كما فى شكل ٢٩ توضع مستديرة فى قناة مصنوعة فى أعلى جدار جسم الطلونبة فلما زاد ضغط الماء فى الطلونبة زاد التصاق الجلدة بقوة من جهة على جدار جسم الطلونبة ومن الجهة الاخرى على مكبس ث بحيث تمنع سيلان الماء

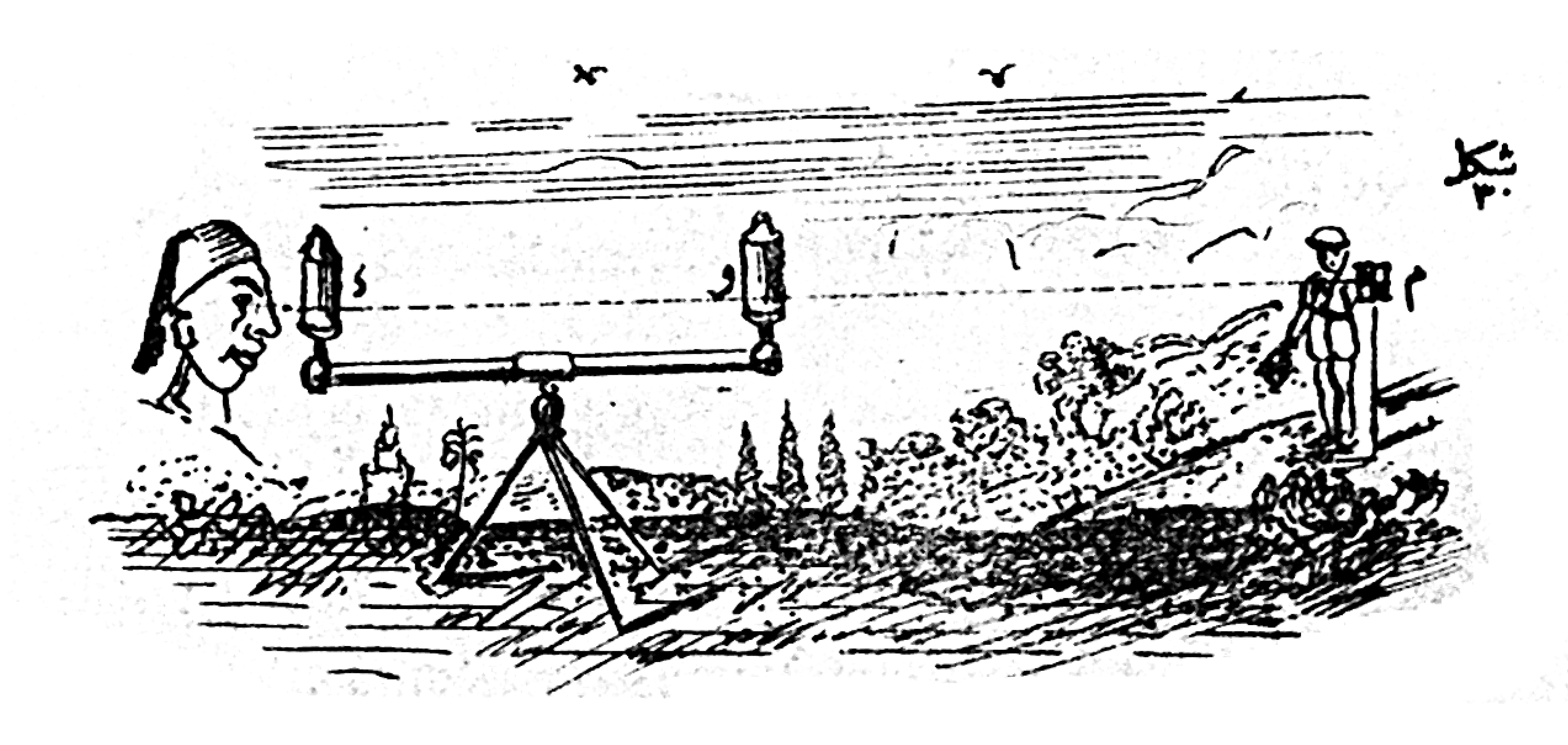


والضغط الذى يمكن حصوله بواسطة المعصرة الايدروليكية يتعلق بنسبة سطح مكبس ت الى سطح مكبس ا فاذا كان السطح الاول أكبر من السطح الثانى ٥٠ أو ١٠٠ مرة صار الضغط الحاصل من أسفل الى أعلى بالمكبس الكبير أعظم من الضغط الحاصل بالمكبس الصغير ٥٠ أو ١٠٠ مرة وزيادة على ذلك فانه يزداد بواسطة رافعة ومثال ذلك اذا كان ذراع القوة من الرافعة قدر ذراع المقاومة خمس مرات فانه يستفاد خمس مرات من القوة كما هو موضح فى مبحث الروافع فى علم الميكانيك واذا أثر على الرافعة حينئذ قوة ٣٠ كيلوجرام كانت القوة المنتقلة بمكبس ا ١٥٠ كيلوجرام وكانت القوة التى ينقلها مكبس ت اذا فرض أن سطحه يساوى سطح المكبس الصغير ١٠٠ مرة ١٥٠٠٠ كيلوجرام ومن المشاهد أنه كلما صار قطر مكبس ت عظيما بالنسبة لقطر مكبس ا صارت سرعة جريان الاول بطيئة بالنسبة لجريان الثانى أعنى أن ما يكتسبه من القوة يفقده من السرعة

والمعصرة الايدروليكية مستعملة فى جميع الاشغال التى تحتاج لضغط عظيم وتستعمل لكبس الجوخ ولاستخراج عصارة البنجر وزيت البزور الزيتية وتستعمل أيضا لتجربة المدافع وقزانات البخار والسلاسل المعدة للبحارة

(المبحث الثانى فى آلة التسوية بالماء أى ميزان التسوية المائى)

التسوية بالماء هى استعمال شروط الموازنة فى الاوانى المستطرقة ببعضها كما تقدم فى موازنة سائل واحد فى جملة أوان مستطرقة ببعضها وتتركب آلة التسوية من أنبوبة من التنك أو النحاس الاصفر معوجة الطرفين وموفق على طرفيها أنبوبتان من الزجاج د و شكل ٣٠



ولاجل

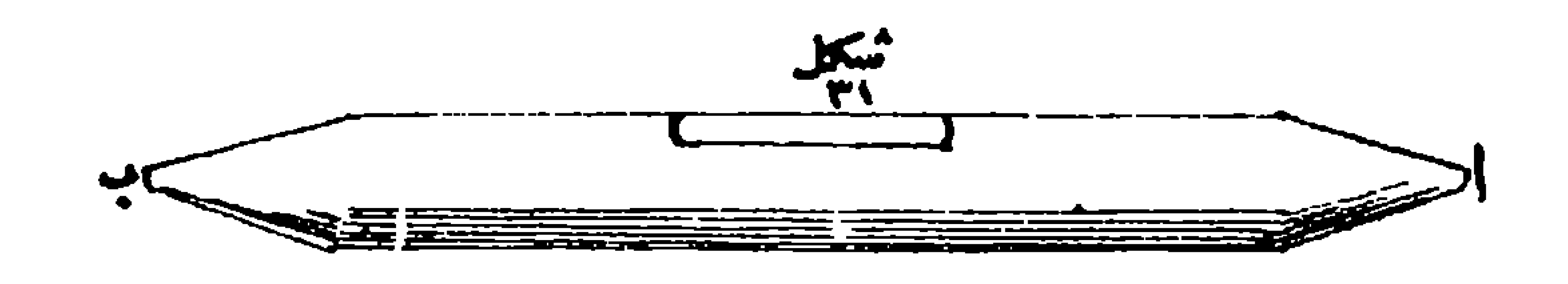
ولاجل استعمال هذه الآلة تنظم أفقيا على قائمة ذات ثلاث شعب و يصب فيها من الماء الى أن يرتفع السائل فى انبوبتى الزجاج ومتى حصلت الموازنة كان استواء الماء فى الانبوبتين واحدا وكان سطحه فى د وفى و فى مستو واحد أفقى

وهذه الآلة تستعمل لاخذ الاستواآت أعنى لتعيين مقدار ارتفاع أىّ نقطة عن نقطة أخرى مثال ذلك اذا أريد معرفة مقدار انخفاض نقطة ب مثلا من الارض عن نقطة أخرى ا يوضع فى هذه النقطة الاخيرة نشان أى القامة متر وهو مسطرة من خشب مكوّنة من ساقين ذوى مجرى يرفع و يخفض أحدهما فيه ومنتهية بصفيحة من التنك م تسمى المرئى وتحمل فى وسطها علامة فتى وضع القامة متر رأسيا فى نقطة ا يوجه المشاهد الكائن بجوار الآلة بواسطة سطحى د و شعاعا بصريا نحو القامة متر و يشير الى المساعد الماسك له بتطويله أو تقصيره الى أن توجد العلامة على استطالة خط د و وحينئذ يقاس ارتفاع ا م و يطرح من ارتفاع الاستواء الاعلى من الارض فيعرف مقدار ارتفاع نقطة ب عن نقطة ا

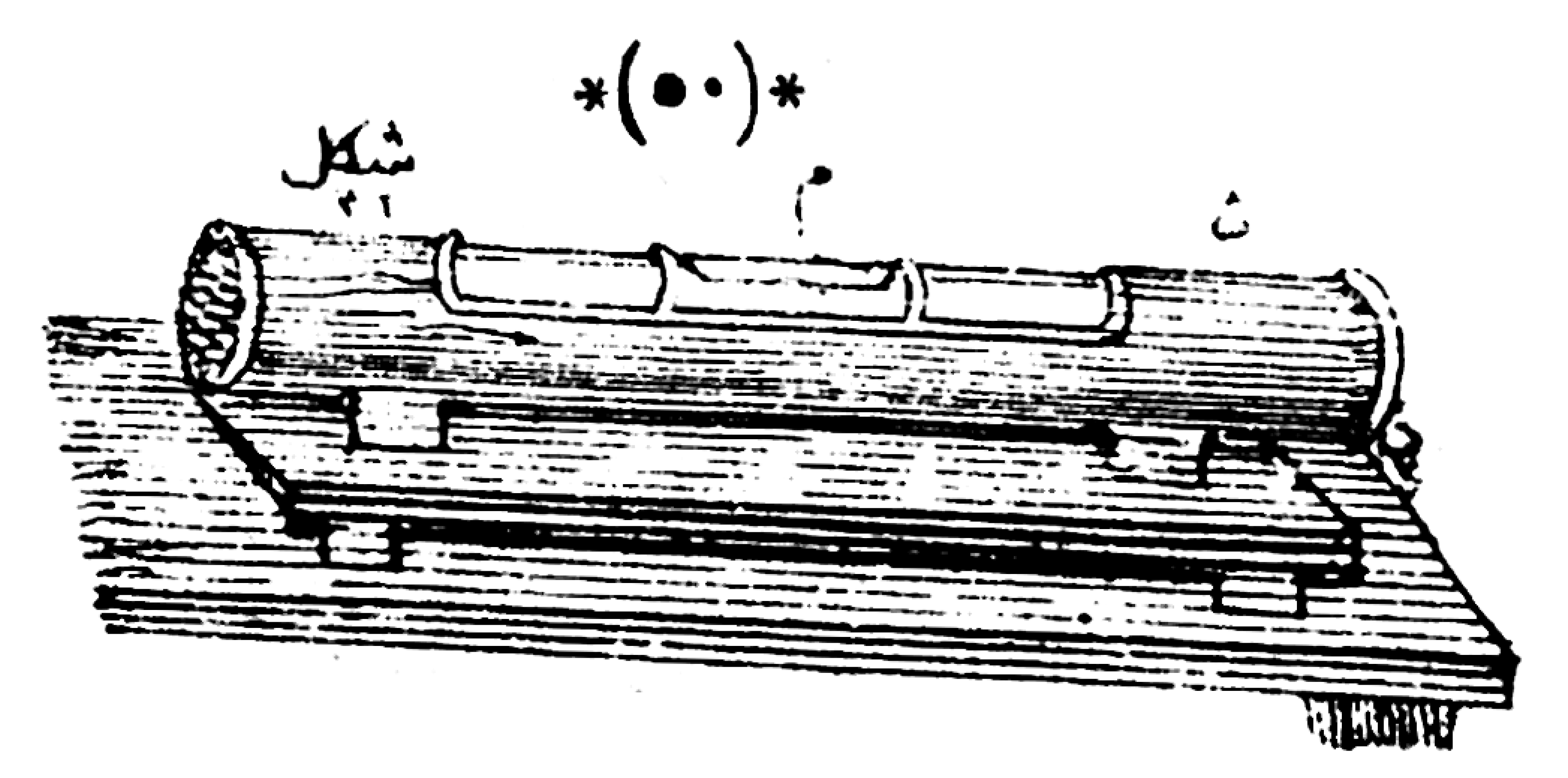
والاستواء المعين بهذه الكيفية هو الاستواء الظاهرى أعنى الاستواء الذى يناسب النقط المنحصرة فى سطح مماس لسطح الكرة المفروض متوازى الكروية وأما الاستواء الحقيقى فهو الاستواء الذى ينسب للنقطة التى بعدها عن مركز الارض متساو ولا يمكن اعتبار الاستواء الظاهرى استواء حقيقيا الا للابعاد الضعيفة

(المبحث الثالث فى آلة التسوية أى ميزان التسوية ذى الكرة الهوائية)

آلة التسوية ذات الكرة الهوائية اكثر احساسا وضبطا من آلة التسوية بالماء وتتكوّن من أنبوبة من زجاج ا ب شكل ٣١



ذات اعوجاج خفيف جدّا تملأ بالماء وتحفظ فيها فقط كرة صغيرة من الهواء تميل دائما لأن تشغل الجزء الاكثر ارتفاعا و بعد سدّ طرفى هذه الانبوبة على المصباح توضع فى بيت أى غلاف من نحاس ت يحفظها مفتوح من أعلى كما فى شكل ٣٢



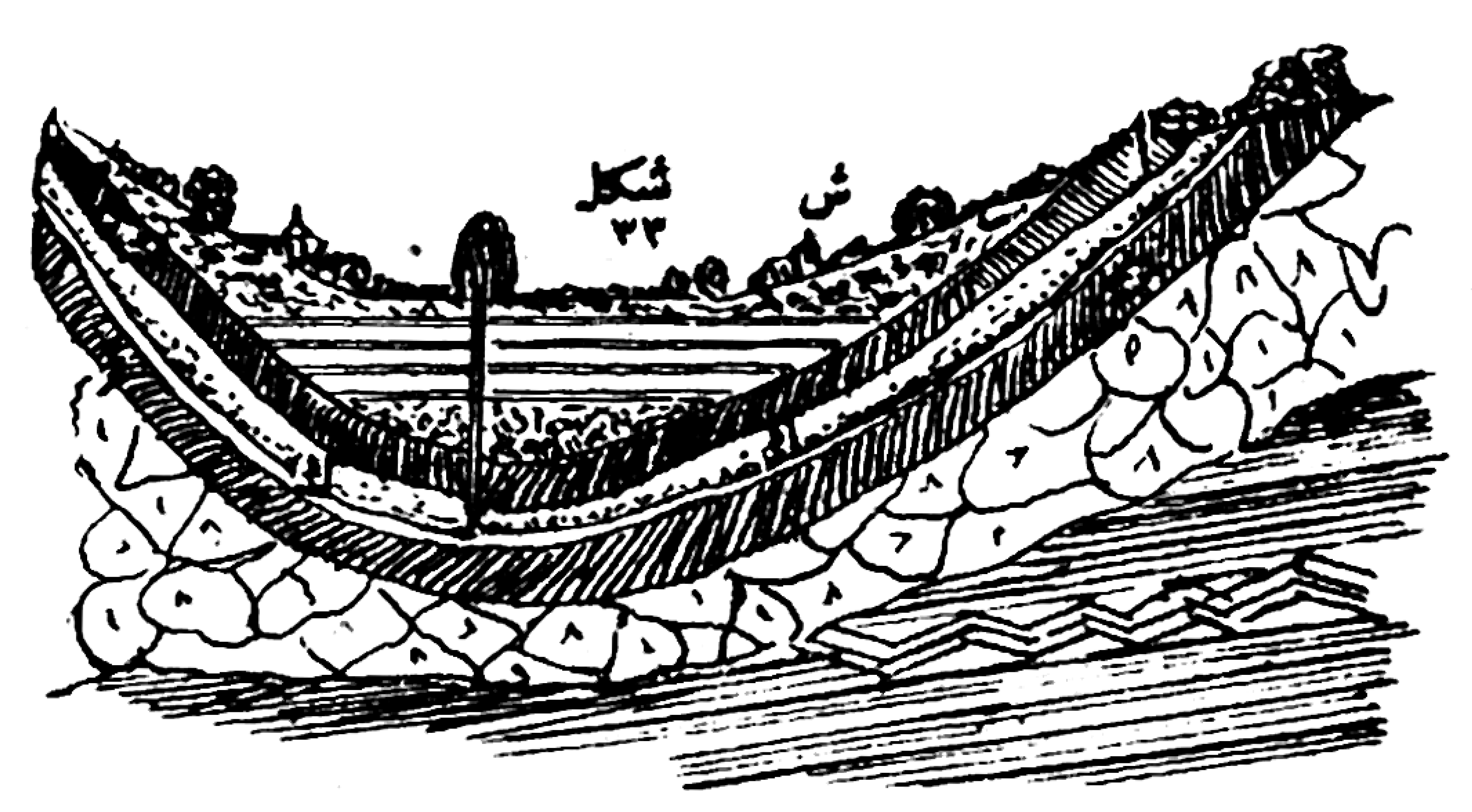
وهذا الغلاف يثبت على قطعة من النحاس سطحية تركب عليها مع الاعتناء بحيث متى وضع على سطح مستوب مثلا وقفت الكرة الهوائية م بالضبط بين نقطتى العلامة المبينتين على الغلاف

ولاجل أخذ الاستواآت بهذا الجهاز يثبت على نظارة تستعمل لتعيين الاتجاه الافقى

(المبحث الرابع فى جريان الماء والآبار النافورية)

البحار والينابيع والانهر كالاوانى المستطرقة ببعضها تميل المياه فيها على الدوام الى أخذ الاستواء الحقيقى وكذلك الآبار الارتيزية أى النافورية وسميت بالارتيزية لانها أول ما فعلت فى اقليم الارتوا القديم بفرانسا

وفى هذا الزمن الاخير حفرت آبار من هذا الجنس فى الصين وفى مصر وهذه الآبار حفر ضيقة جدا تفعل بالجس المعروف بالبرمة وهى مختلفة العمق ومياهها على العموم منبثقة ولاجل معرفة نظريتها نلاحظ أن الاراضى المكونة لطبقة الكرة بعضها تسرى فيه المياه كالاراضى الرملية والحصوية وبعضها لا تسرى فيه المياه كالاراضى الطفلية اذا تقرر ذلك فلتكن قطعة أرض ش كثيرة الاتساع أو قليلته ممتدا تحتها طبقتا ا ب ث د مانعتين لسريان الماء فيهما كما فى شكل ٢٣



ومنحصرا

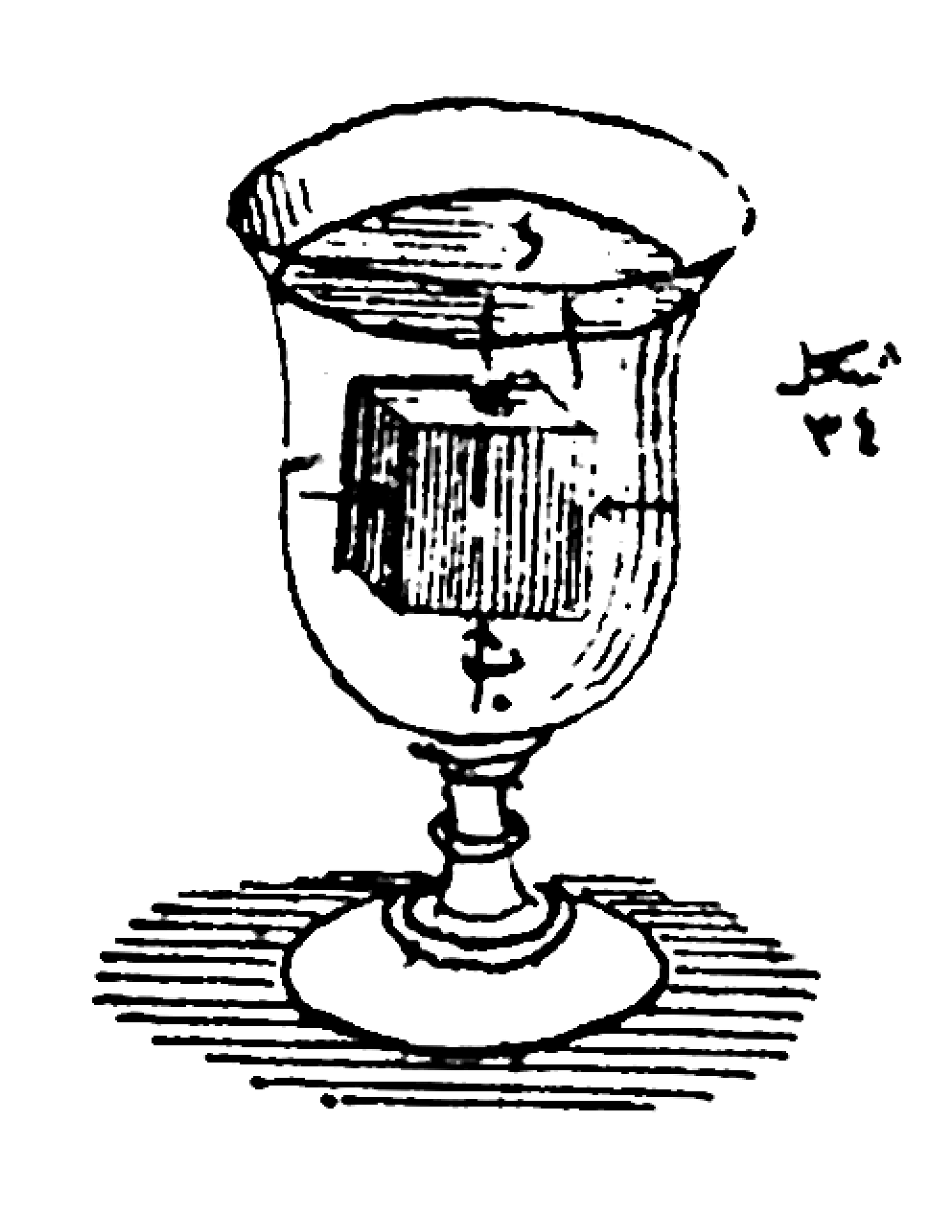
ومنحصرا بينهما طبقة ك ك تسمح لسريان الماء فيها وهذه الطبقة متصلة مع الاراضي الكثيرة الارتفاع المتشربة لماء المطر فعلى حسب الميل الطبيعي للارض من وسط الطبقة التي تسمح لسريان الماء فيها يصير الماء أسفل الارض التي فرضنا عدم اتصالها به لانفصالها بالطبقة ا ب التي لا تسمح لسريان الماء فيها لكن اذا فعل في جزء من الارض المذكورة حفرة تثقب هذه الطبقة ارتفع الماء الذي يميل دائما الى أخذ استواء واحد في هذه الحفرة الى ارتفاع يكون أعظم كلما كان الماء متصلا مع أرض اكثر ارتفاعا

والماء الذي يمد الآبار النافورية يأتي في الغالب من مسافة ٣٠ الى ٤٠ ملقة وأما عمقها فيختلف على حسب المحلات فالبئر النافورية التي حفرها جرونيل بالقرب من باريس عمقها ٥٤٨ مترا وحرارة الماء الصاعد منها في جميع الفصول ٢٧ درجة والبئر النافورية الكائنة في باسي المنتهي حفرها في سنة ١٨٦١ عمقها ٥٨٧ مترا ونصفا ودرجة حرارة مائها ٢٨

(الفصل الخامس في الاجسام المغمورة في السوائل وفيه مباحث)

(المبحث الاول في الضغط المتحمله الجسم المغمور في سائل)

متى غمر جسم صلب في سائل تحمل سطحه في كل نقطة منه ضغوطا يكون كل منها عموديا عليها وتزداد هذه الضغوط مع ازدياد العمق فاذا تصورنا تحليل جميع هذه الضغوط الى ضغوط أفقية وعمودية كانت الضغوط الاولى لكل طبقة أفقية متساوية ومتضادة اثنين اثنين وتحصل حينئذ الموازنة وأما الضغوط الرأسية فيسهل مشاهدة أنها غير متساوية وأنها تميل الى تحريك الجسم المغمور من أسفل الى أعلى وليكن مكعب مغمورا - في وسط كتلة ماء شكل ٣٤



ونفرض لزيادة التوضيح أن جدرانه الجانبية منظمة رأسيا فهذه الجدران تتحمل ضغوطا متساوية حيث أن أسطحها واحدة وكائنة في عمق واحد كما تقدم في الضغط على الجدران الجانبية

فمن الواضح أن الضغوط في كل سطحين متضادين تكون ذات اتجاه متضاد وتحدث حينئذ الموازنة

واذا تأملنا الآن للضغوط الواقعة على الاسطح الافقية ا وب نشاهد أن السطح الاول مضغوط من أعلى الى أسفل بثقل عمود من الماء قاعدته نفس السطح وارتفاعه ا د وكذلك السطح السفلي يكون مدفوعا من أسفل الى أعلى بثقل عمود من الماء قاعدته هذا السطح وارتفاعه ب د كما تقدم في الضغط من أسفل الى أعلى ويميل المكعب حينئذ الى الصعود بالفرق بين هذين الضغطين المساوي لثقل عمود من الماء قاعدته وارتفاعه عين قاعدة وارتفاع المكعب وعلى ذلك فهذا الضغط يساوي لنفس ثقل حجم الماء الذي حل محله الجسم المغمور

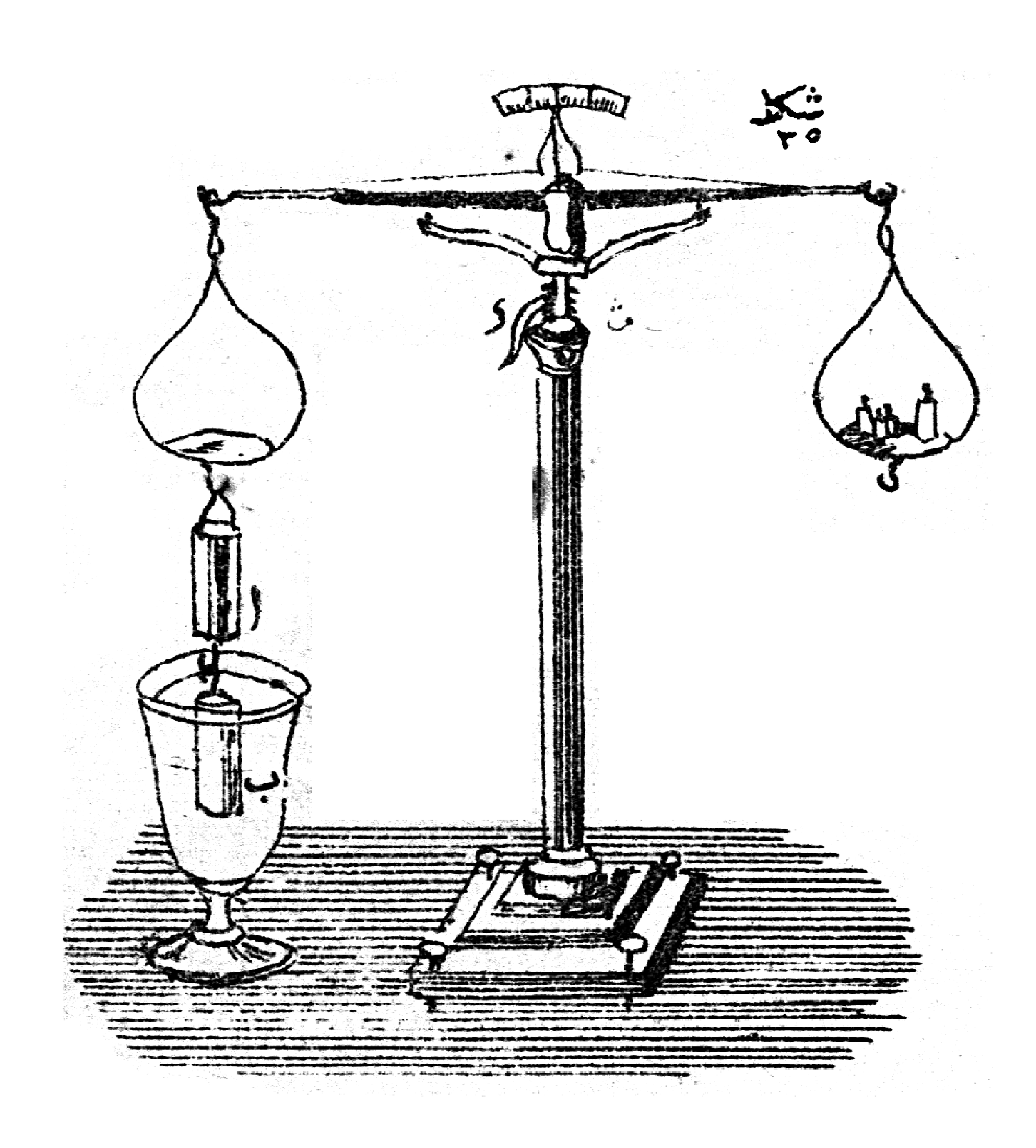
ويمكن أن يعرف أيضا من البرهان الآتي أن كل جسم غمر في سائل يتحمل من أسفل الى أعلى ضغطا يساوي لثقل السائل الذي حل محله وفي الواقع اذا اعتبرنا في كتلة سائل في حالة الموازنة جزأ من هذا السائل ذا شكل ما كروي أو بيضاوي أو غير منتظم وفرضناه متجمدا بدون زيادة ولا نقص في أبعاده ولا في حجمه فمن الواضح أن هذا الجزء المتجمد يتحمل من كتلة السائل نفس الضغوط التي كان يتحملها من قبل وأنه بناء على ذلك يصير أيضا في حالة الموازنة وهذا لا يمكن حصوله الا لكونه متحملا من أسفل الى أعلى دفعا مساويا لثقله وحينئذ اذا غمر محل الجزء المتجمد جسم مخالف له في الكثافة لكن حجمه وشكله كحجمه وشكله بالضبط تحمل هذا الجسم بالضرورة نفس الضغوط التي كان متحملها السائل المتجمد ويصير متعرضا مثله لدفع مساو لثقل السائل الذي حل محله

ومهما كان شكل الجسم المغمور في سائل فان جميع الضغوط الحاصلة على أسطحه من هذا السائل ترجع الى قوة واحدة التي هي ناتج الضغوط ونقطة تعليق هذا الناتج تكون مركز ضغط السائل

(المبحث الثانى فى قاعدة ارشميدس)

يقتضى ما تقدم فكل جسم غمر فى سائل يكون معرضا لتأثير قوتين متضادتين قوة التثاقل التى تميل لخفضه وقوة دفع السائل التى تميل لرفعه بقوة مساوية لنفس ثقل السائل الذى أزاغه الجسم وينعدم حينئذ ثقل الجسم كله أو بعضه بقوة الدفع هذه وينتج من ذلك أن الجسم المغمور فى سائل يفقد جزأ من ثقله مساويا لثقل السائل الذى حل محله

وهذه القاعدة المستعملة أساس النظرية الاجسام الغاطسة والطافئة تعرف بقاعدة أرشميدس وتحقق هذه القاعدة بالتجربة بواسطة الميزان الايدر وستاتيكى الذى هو ميزان معتاد كل من كفتيه موشحة بكلاب ويمكن رفع قبه وخفضه على حسب الارادة بواسطة شريط من حديد يمشى بزرصغير ث كما فى شكل ٣٥



وقطعة د تمسك الشريط متى ارتفع

وكيفية ذلك أن يرفع القب ويعلق فى الكلاب أسفل احدى الكفتين اسطوانة مجوفة ا من نحاس ويعلق تحت هذه الاسطوانة اسطوانة ثانية مصمتة ب يكون حجمها بالضبط عين حجم سعة الاسطوانة الاولى ثم توضع وزنات فى الكفة الثانية الى أن تحصل الموازنة فاذا ملئت حينئذ اسطوانة ا بالماء اختلت الموازنة لكن اذا خفض القب حالا بحيث تنغمر اسطوانة ب بتمامها فى ماء الاناء الموضوع تحته يشاهد حصول الموازنة وتفقد اسطوانة ب حينئذ بغطسها جزأ من ثقلها يساوى لثقل الماء المنصب فى اسطوانة ا وحينئذ فقد تحققت قاعدة أرشميدس حيث أن سعة هذه الاسطوانة الاخيرة مساوية لحجم اسطوانة ب

(المبحث الثالث فى تعيين حجم الجسم)

يتعين بالضبط حجم الجسم الغير منتظم الشكل بواسطة قاعدة أرشميدس متى كان لا يذوب فى الماء ولاجل ذلك يعلق بخيط رفيع فى الميزان الايدروستاتيكى ويوزن أولا فى الهواء ثم فى الماء المقطر الذى فى درجة ٤ + فالفقد من الوزن الذى يتحقق حينئذ هو ثقل الماء الذى حل محله الجسم ومن ثقل هذا الماء يستنتج حجمه وبالتبعية حجم الجسم المغمور المساوى لحجم الماء وليكن الفقد من الثقل مثلا ١٠٠ جراما فهذا يدل على أن الماء الذى حل محله الجسم يزن ١٠٠ جراما ومن المعلوم أن ثقل الجرام واحد سنتيمتر مكعبا من الماء المقطر درجة ٤ + وحينئذ يكون حجم الماء المنزوى وحجم الجسم المغمور ١٠٠ سنتيمتر مكعبا

واذا لم يكن الماء فى درجة ٤ + يفعل فيه التعديل الآتى فى تمدد الحرارة

(المبحث الرابع فى موازنة الاجسام الغاطسة والطافئة والمتناسنتر)

بمقتضى الاعتبارات النظرية التى أوصلتنا القاعدة أرشميدس اذا غمر جسم فى سائل مماثل له فى الكثافة كانت القوة الدافعة التى تعمل لرفعه مساوية بالضبط لثقله ويبقى الجسم حينئذ معلقا فى وسط السائل

واذا كان الجسم اكثر كثافة من السائل سقط فيه لان ثقله يزيد على القوة الدافعة من أسفل الى أعلى

وان كان الجسم المغمور أقل كثافة من السائل تسلطن دفع السائل وأخذ الجسم حينئذ حركة صعود وارتفع خارج السائل الى أن لا يزيغ منه الا حجم ثقله يساوى لثقل الجسم و يقال حينئذ طفا فالشمع والخشب و جميع الاجسام الاخف من الماء تعوم على سطحه

ولاجل أن تأخذ الاجسام الغاطسة أو الطافئة حالة الموازنة التامة يلزم شرطان

الاول يلزم أن يزيغ الجسم ثقلا من السائل مساويا لثقله ان كان طافئا

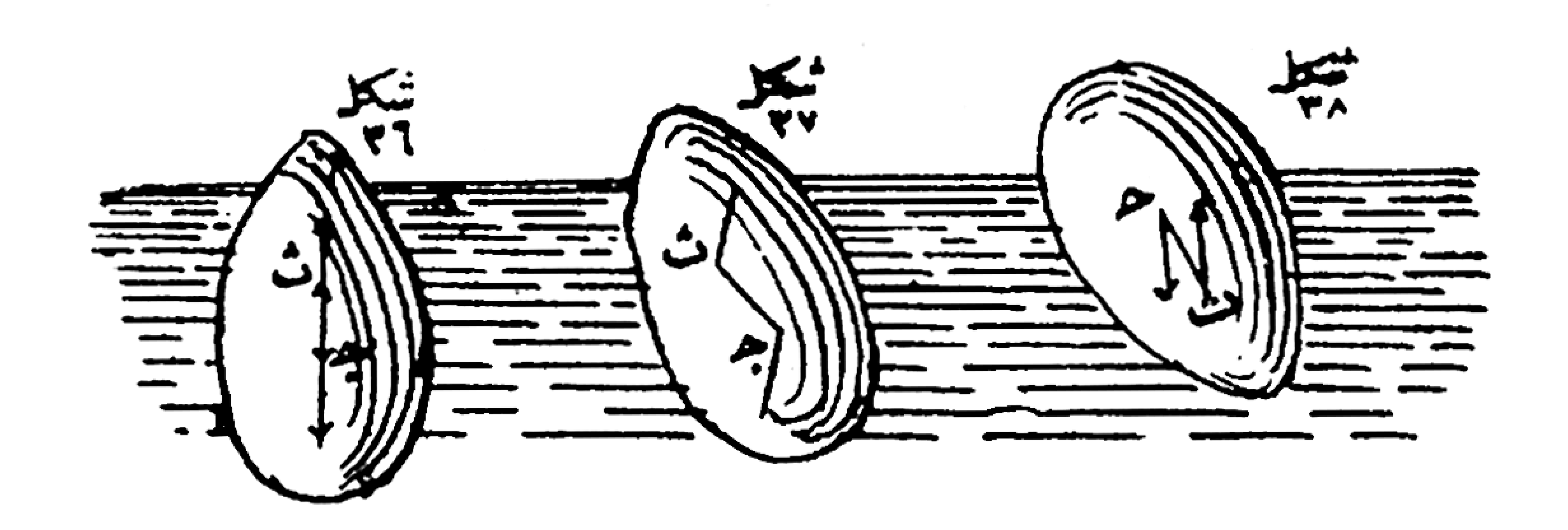
الثانى يلزم أن يكون مركز تثاقل الجسم ومركز ضغط السائل المنزوى على خط رأسى واحد

وفى الواقع اذا توفر هذان الشرطان كان كل من ثقل الجسم المؤثر فى مركز تثاقله وقوة الدفع من أسفل الى أعلى المؤثرة فى مركز الضغط قوتين ليستا متساويتين فقط بل متضادتين وحينئذ فيحدث ثبات الموازنة وسنشاهد فى أى حالة وجود ثبات هذه الموازنة أو عدم ثباتها

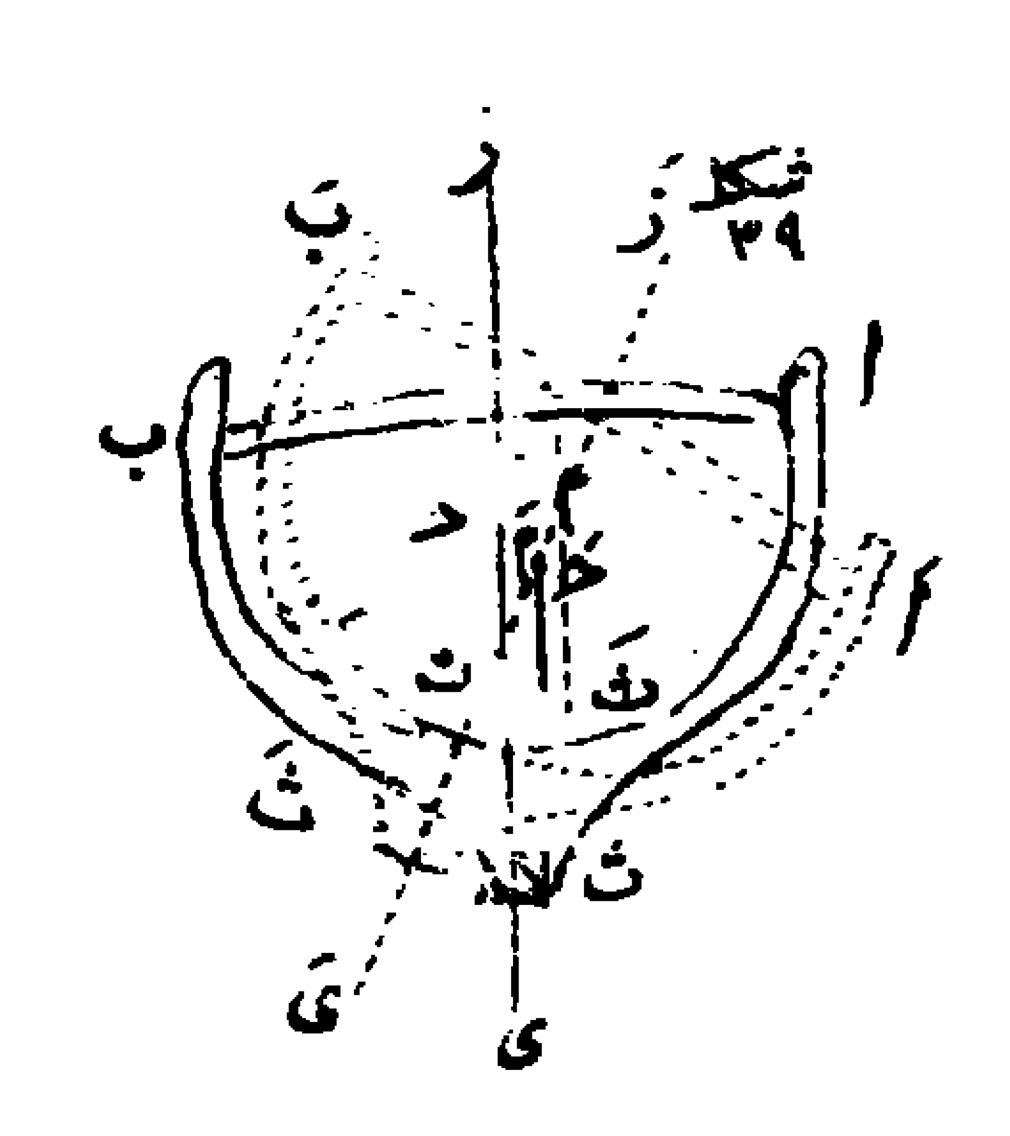
الحالة الاولى متى كان مركز التثاقل أسفل مركز الضغط كما فى شكل ٣٦

كانت الموازنة دائما ثابتة لان الجسم اذا ابعد قليلا عن وضعه فى الموازنة كما فى شكل ٣٧ مالت القوى المؤثرة فى ث وفى ج الى ترجيعه لها ثانيا

الثانية اذا كان مركز التثاقل أعلى مركز الضغط فان الموازنة تميل الى أن تكون غير ثابتة لان الجسم حيث أنه تحول عن وضعه فى الموازنة كما فى شكل ٣٨



فالقوى المؤثرة فى ج وفى ث تميل الى زيادة تبعيده عنها ومع ذلك يمكن فى هذه الحالة الحصول على الموازنة الثابتة وليكن ا ب ث مثلا شكل ٣٩



قطاع سفينة بمستوى مار بالخط الرأسى زى الموضوع عليه مركز التثاقل ج للسفينة فى زى ومركز الضغط ث للسائل المنزوى فمتى مالت السفينة فى الوضع ا ب ث مال خط زى ومركز التثاقل الذى لا يتغير بالنسبة للسفينة ينتقل من ج الى جَ وفى حالة تغير شكل السائل المنزوى يتغير مركز الضغط بالنسبة للسفينة ويأخذ الوضع مثلا ث اذا تقرر ذلك فليوصل بنقطة ث خط عمودى يقطع مستقيم زى فى م النقطة التى فيها يفرض تأثير دفع السائل فاذا كانت نقطة م موضوعة أعلى من نقطة جَ فمن الواضح أن القوى المؤثرة فى م وفى ج يرجعان السفينة الى وضعها الاول ا ب ث ويتبع ذلك ثبات الموازنة وبالعكس اذا كانت نقطة م أسفل مركز التثاقل فى م وفى ج السفينة وكانت الموازنة غير ثابتة ويعطى اسم ميتاسنتر لنقطة م التى فيها يقطع الخط العمودى ث م مستقيم زى ويعلن حينئذ اختصار ما تقدم بأن يقال ان الاجسام الطافئة تكون فى الموازنة الثابتة متى كان الميتاسنتر أعلى من مركز تثاقل الجسم الطافئ وفى موازنة غير ثابتة متى كان الميتاسنتر أسفل

وتعيين الميتاسنتر ومركز التثاقل ذو أهمية عظيمة فى تنظيم السفينة وشحنها لان ثبات الموازنة متعلق بوضعه

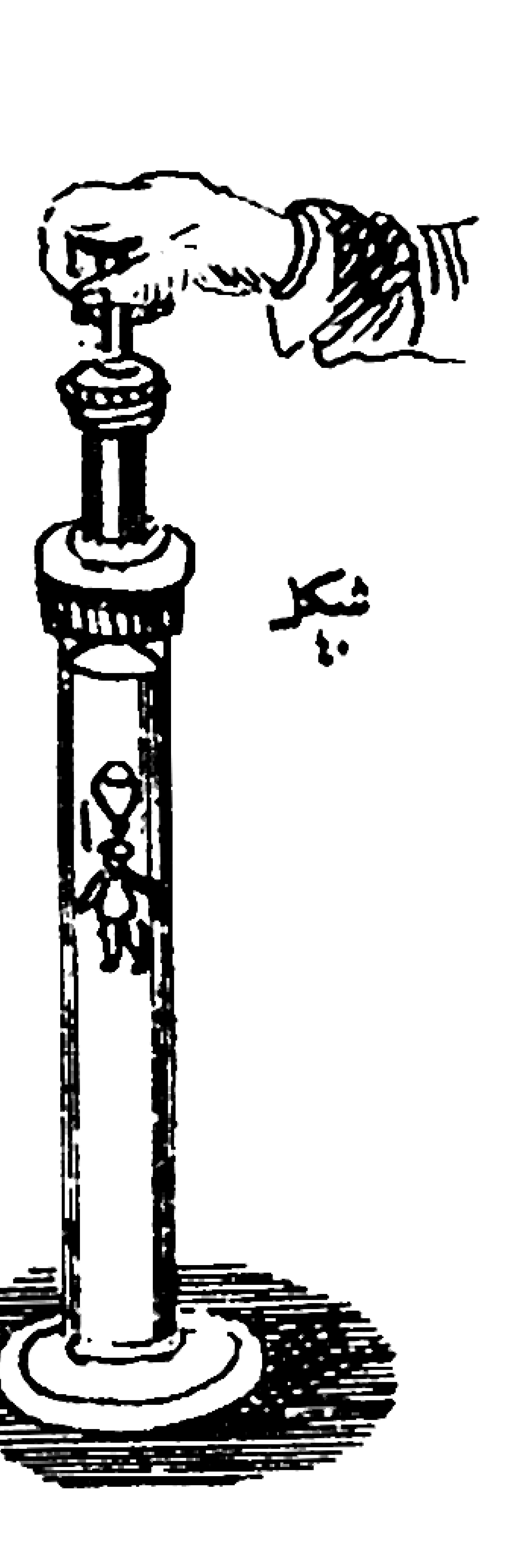
وبمقتضى قاعدة ارشميدس تعوم الاجسام بسهولة عظيمة على سطح السوائل كلما كانت السوائل أكثر كثافة منها فمتى وضعت بيضة مثلا فى الماء المعتاد غطست فى قاعه لانها تزن اكثر من قدر حجمها منه لكن متى غمرت فى ماء مشبع بالملح عامت والقطعة من خشب البلوط تعوم على الماء لكنها تغطس فى الزيت والكتلة من الحديد تعوم فى الزئبق وتغطس فى الماء

وأما

وأما حجم الجزء الغاطس من الاجسام الطافئة فيكون على حسب النسبة العكسية لكثافة السائل وعلى حسب النسبة الطردية لكثافة الجسم الطافئ

(المبحث الخامس فى اللعبة)

الاحوال المختلفة لتعليق وغطس وعوم الاجسام فى سائل تظهر بالجهاز الصغير المسمى باللعبة وهو يتركب من مخبار زجاج ملآن بالماء تعلوه أنبوبة من نحاس فيها مكبس يرفع ويخفض باليد كما فى شكل ٤٠



وفى السائل صورة صغيرة من المينا مسوكة بكرة من الزجاج مجوفة ا محتوية على الهواء والماء طافئة على السطح وهذه الكرة مثقوبة من جزئها السفلى بفتحة صغيرة منها يدخل ويخرج الماء فى الكرة على حسب كثرة وقلة انضغاط الهواء الذى داخلها ومقدار الماء الذى يوضع ابتداء فى الكرة يكون كافيا بحيث لايحتاج الجهاز لغطسه بالكلية الا لتأثير ثقل قليل جدا فاذا فعل حينئذ ضغط خفيف باليد على المكبس كما يظهره الشكل انضغط الهواء الذى تحته وانتقل ضغطه الى ماء الاناء والى الهواء الذى فى الكرة وينشأ عن ذلك دخول كمية من الماء فى الكرة ويصير الجسم الطافئ أكثر ثقلا فيغطس فاذا انقطع الضغط حينئذ تمدد هواء الكرة وطرد الماء الزائد الذى دخل فيها وصار الجسم الغاطس اكثر خفة فيطفو ثانيا

(المبحث السادس فى مثانة العوم أى عوّامة السمك)

من الاسماك أنواع كثيرة تحمل فى البطن السفلى وتحت سلسلة الظهر حوصلة ملآنة بالهواء تسمى بالعوّامة فالسمكة عند ضغطها أو تمددها لتلك الحوصلة بقوة العضلات يتغير حجمها وتحدث أفعالا مشابهة للافعال التى شاهدناها فى اللعبة أعنى أن السمكة تنخفض أو ترتفع فى وسط الماء

(المبحث السابع فى السباحة)

الجسم الانسانى هو على العموم أخف من حجم مساوله من الماء العذب ولذا يمكنه أن يعوم عادة على سطح الماء العذب ومن باب أولى على سطح الماء الملح الذى هو أكثر كثافة من الماء العذب

وامساك الجسم على سطح الماء يكون حينئذ أقل صعوبة من التمكن من امساك الرأس خارج الماء لاجل سهولة التنفس وحيث أن رأس الانسان أكثر ثقلا بالنسبة للاعضاء السفلى فتميل الى الغطس وهذا هو الذى يجعل السباحة للانسان صناعة تجب ممارستها

وأما عند الحيوانات ذات الاربع فبعكس ذلك فالرأس التى تزن أقل من الجزء الخلفى للجسم يمكنها أن تمكث بدون تعب ولا قوة لامساكها خارج الماء وأيضا فهذه الحيوانات تعوم خلقة

(الفصل السادس فى الوزن النوعى والاريومترذى الحجم المستمر وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى تعيين الوزن النوعى)

تقدم فى الكلام على الثقل أن الثقل النوعى لجسم سواء كان صلبا أو سائلا هو نسبة وزن حجم من هذا الجسم لوزن حجم مساوله من الماء المقطر درجة ٤ + وعلى مقتضى هذا التعريف يكفى لاجل معرفة الوزن النوعى لجسم تعيين وزنه ووزن حجم مساو له من الماء المقطر درجة ٤ + ثم قسمة الوزن الاول على الثانى فالناتج المتحصل هو الوزن النوعى المبحوث عنه والمفروض أن وزن الماء المقطر ماخوذ وحدة

و يستعمل لتعيين الوزن النوعى للاجسام الصلبة والسائلة ثلاث طرق طريقة الميزان الايدروستاتيكى وطريقة الاريومتر وطريقة الدورق وجميع هذه الثلاث طرق ترجع كما ذكرنا للبحث أولا عن وزن الجسم ثم وزن حجم مساوله من الماء كما سيأتى

(المبحث الثانى فى الوزن النوعى للاجسام الصلبة)

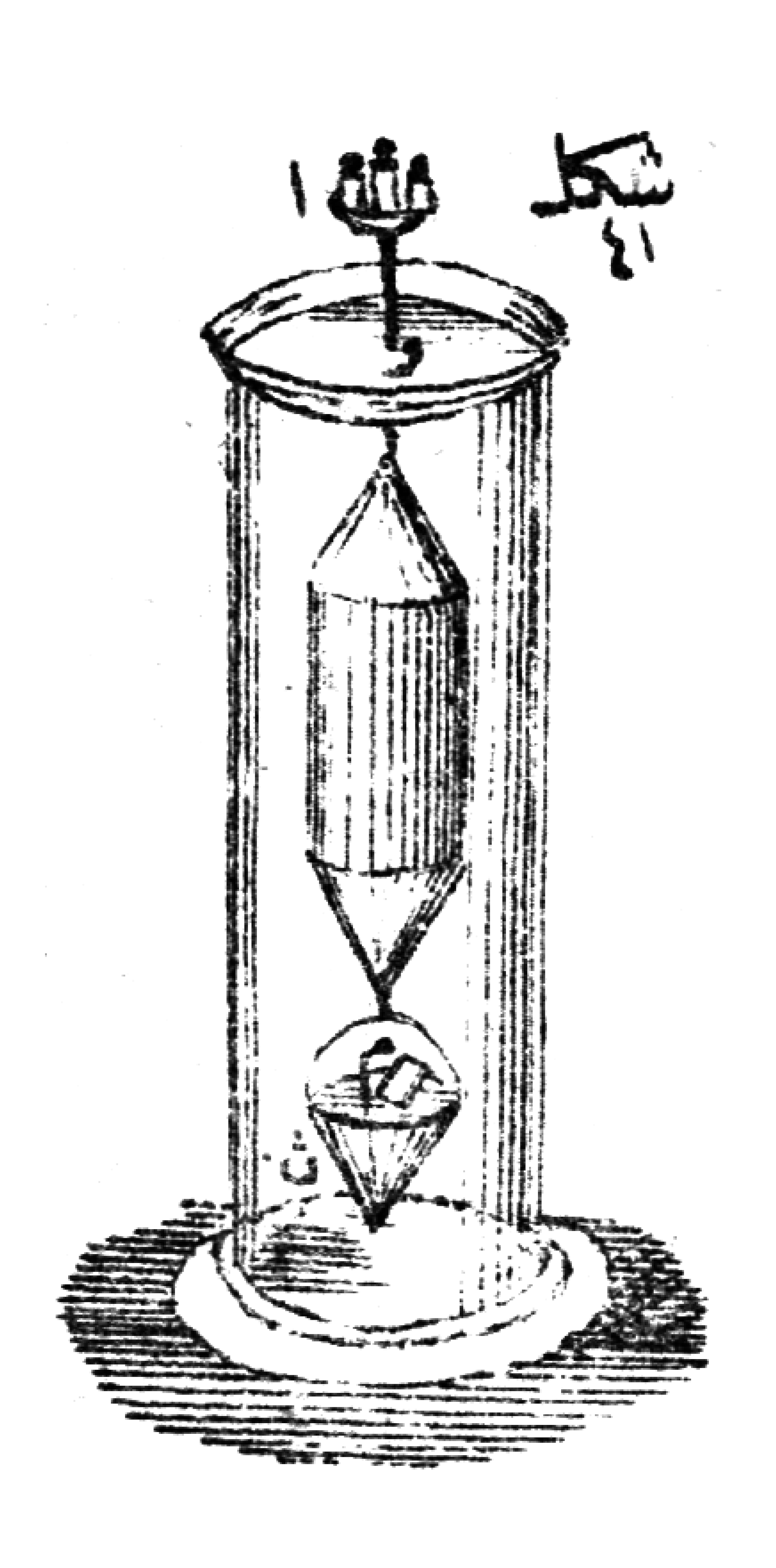
الاولى طريقة الميزان الايدروستاتيكى لاجل الحصول على الوزن النوعى لجسم غير قابل للذوبان فى الماء بواسطة الميزان الايدروستاتيكى شكل ٦٣

يوزن أولا هذا الجسم فى الهواء ثم يعلق فى كلاب الميزان و يوزن فى الماء فالفقد من الوزن الذى يتحقق حينئذ هو بمقتضى قاعدة ارشميدس وزن حجم من الماء مساو لحجم الجسم

ولا يبقى حينئذ الا قسمة وزن الجسم فى الهواء على مقدار الفقد من الوزن الذى حصل فى الماء والناتج هو الوزن النوعى المبحوث عنه

فاذا كان ب دالا على وزن الجسم فى الهواء وبَ وزنه فى الماء و ى وزنه النوعى يكون وزن الماء المنزوى حينئذ ب − بَ ويصير ى = ب / (ب − بَ)

الثانية طريقة أريومتر نيكولسن اريومتر نيكولسن جهاز طافئ يستعمل لتعيين الوزن النوعى للاجسام الصلبة ويتركب من اسطوانة مجوفة من التنك شكل ٤١ معلق فيها مخروط ث ممتلئ بالرصاص



فائدته أنه يكون صابورة للجهاز بحيث يوجد مركز تثاقله أسفل مركز الضغط وهذا شرط ضرورى لثبات الموازنة كما تقدم فى الكلام على موازنة الاجسام الغاطسة والطافئة وينتهى الجهاز من جزئه العلوى بساق وبكفة ا وهذه الكفة معدة لقبول الوزنات والجسم الذى يبحث عن وزنه النوعى وبالجملة فيكون على الساق فى و علامة ظاهرة تسمى بنقطة التهفهف تخدم لمعرفة غطس الجهاز بمقدار واحد

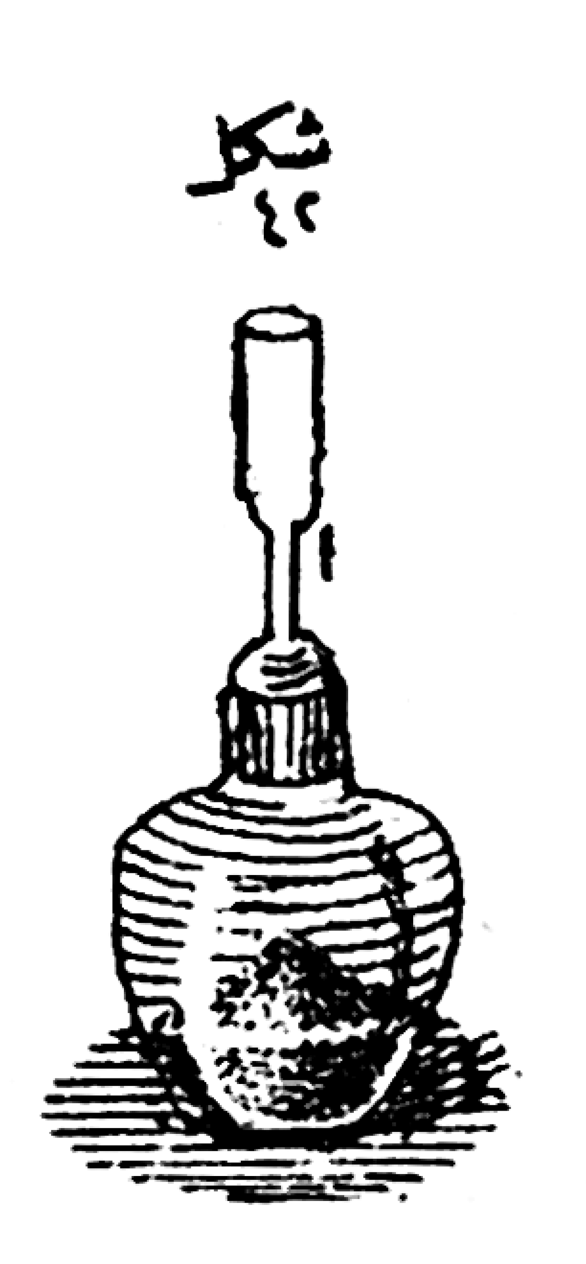
ولاجل التجربة بهذه الآلة يبحث أولا عن معرفة مقدار الوزنات التى يلزم وضعها فى كفة ا حتى يغطس الاريومتر فى الماء الى نقطة التهفهف لانه فى حالة الخلو عن الوزنات يرتفع جزء منه خارج الماء ولنفرض أن هذه الوزنات ١٢٥ جراما مثلا والمراد معرفة الوزن النوعى للكبريت فتؤخذ منه قطعة تزن أقل من ١٢٥ جراما وتوضع فى كفة ا ثم تضاف جرامات الى أن يغطس الاريومترا الى نقطة التهفهف ثانيا فاذا لزم اضافة ٥٥ جراما مثلا يكون من الواضح أن وزن الكبريت هو الفرق بين ١٢٥ و ٥٥ أعنى ٧٠ جراما وحينئذ فقد تعين وزن الكبريت فى الهواء ولم يبق الا ايجاد وزن حجم من الماء مساو

لحجمه ولاجل ذلك ينزع الاريومتر وتحمل قطعة الكبريت من كفة ا الى الكفة السفلى ث فى محل م كما يتضح من الشكل

فمع عدم تغير الوزن الكلى للآلة يشاهد أنها بغطسها ثانيا فى الماء لا تصل الى نقطة التهفهف وهذا ناشئ عن كون الكبريت فقد من وزنه حال غمره فى الماء جزأ مساويا لوزن الماء الذى حل محله فاذا اضيفت وزنات فى الكفة العليا الى أن يحصل التهفهف وكانت ٣٤و٤ جراما مثلا كان هذا العدد مبينا لوزن حجم الماء المزوى أعنى وزن حجم من الماء مساو لحجم الكبريت ولم يبق حينئذ الا قسمة ٧٠ جراما التى هى وزن الكبريت فى الهواء على ٣٤و٤ جراما فينتج الوزن النوعى للكبريت وهو ٢و٠٣

فان كان الجسم المراد معرفة وزنه النوعى أخف من الماء طفا على السطح ولم يستقر على الكفة السفلى ث فلاجل منع صعوده واستقراره على كفة ث يوفق لهذه الكفة شبكة صغيرة من سلك حديد متحركة تمنع صعود الجسم وباقى التجربة يفعل كما ذكرنا

الثالثة طريقة الدورق هذه الطريقة المنسوبة الى كلابروت مستعملة بالخصوص للاجسام المسحوقة وفيها يستعمل دورق زجاج صغير متسع الفم ذو سدادة من جنسه تسده سدا محكما وهذه السدادة مثقوبة بقناة ممتدة شعرية تنتهى بانبوبة ذات قطر عظيم كما فى شكل ٤٢



وعلى هذه القناة علامة ا ويعتنى فى كل وزن بامتلاء الدورق بالماء امتلاء تاما لحد هذه العلامة ويحصل ذلك بتغطيس الدورق بالكلية فى الماء وسده زمن غطسه فيوجد الدورق والقناة ممتلئين بالكلية ثم يرفع الماء الزائد لحد العلامة ا بواسطة قطعة مبرومة من الورق الغير منشى

وحينئذ بعد وزن المسحوق الذى يبحث عن وزنه النوعى يوضع فى احدى كفتى الميزان وبجانبه الدورق الصغير الممتلئ بالماء امتلاء تاما مغلقا وممسوحا ماعليه من الماء

مع الاعتناء ثم يعادل بوضع حبات من الرصاص فى الكفة الثانية ومتى فعل ذلك يرفع الدورق ويزال سدادته ويوضع فيه المسحوق ثم توضع السدادة ثانيا بالكيفية السابقة ويوضع الدورق ثانيا فى الكفة التى كان فيها أولا لاتحصل الموازنة لان المسحوق طرد كمية من الماء فتضاف وزنات بجانب الدورق الى أن يأخذ الميزان وضعه الافقى فعدد الجرامات المضافة يبين وزن حجم من الماء مساو لحجم المسحوق ولم يبق حينئذ الا نفس الحساب المتقدم فى الطريقتين السابقتين

وفى هذه التجربة يهتم بطرد كمية الهواء القليلة المتخللة بين أجزاء الجسم المسحوق التى تجعله يزيح حجما من الماء اكثر من حجمه ولاجل ذلك يوضع الدورق بعد وضع المسحوق فيه تحت ناقوس الالة المفرغة ويفعل الفراغ فيتصاعد الهواء بسبب قوة مرونته وتحصل نفس هذه النتيجة بغلى الماء الذى فيه المسحوق

(المبحث الثالث فى الاجسام القابلة للذوبان فى الماء)

اذا حصل فى الثلاث طرق المتقدمة أن الجسم الذى يبحث عن وزنه النوعى يذوب فى الماء فيؤخذ الوزن النوعى لهذا الجسم بالنسبة لسائل آخر لا يذوب فيه هذا الجسم كالكؤول مثلا ثم يبحث باحدى الطرق التى سنذكرها عن الوزن النوعى للكؤول بالنسبة للماء ويحصل الوزن النوعى للجسم المعلوم بضرب وزنه النوعى بالنسبة للكؤول فى الوزن النوعى للكؤول بالنسبة للماء

وليكن ب وزن حجم من الجسم و بَ وزن حجم مثله من الكؤول و بً وزن حجم مثله من الماء فيصير $\frac{ب}{بَ}$ الوزن النوعى للجسم بالنسبة للكؤول و $\frac{بَ}{بً}$ الوزن النوعى للكؤول بالنسبة للماء

وبناء على ذلك فنا تج هذين الكسرين بقطع النظر عن الكسر المشترك بَ يصير $\frac{ب}{بً}$ دالا على الوزن النوعى للجسم بالنسبة للماء

(الوزن النوعي للاجسام الصلبة في الصفر بالنسبة لوزن الماء المقطر درجة ٤ + المأخوذ وحدة)

بلاتين مطروق على البارد	٢٣	انتيمون مسيح	٦،٧١٢
بلاتين مسيح	٢١،١٦	الماس الاكثر ثقلا	٣،٥٣١
ذهب مطروق	١٩،٣٦٢	الماس الاكثر خفة	٣،٥٠١
ذهب مسيح	١٩،٢٥٨	رخام	٢،٨٣١
رصاص مسيح	١١،٣٥٢	الومينيوم	٢،٦٨
فضة مسيحة	١٠،٤٧٤	بلور صخري نقي	٢،٦٥٣
بزموت مسيح	٩،٨٢٢	زجاج	٢،٤٨٨
نحاس أحمر محال الى	٨،٨٧٨	صيني الصين	٢،٣٨٥
خيوط		صيني سيفر	٢،١٤٦
نحاس مسيح	٨،٧٨٨	كبريت	٢،٠٣٣
نحاس أصفر	٨،٣٩٣	عاج	١،٩١٧
صلب	٧،٨١٦	انتراسيت	١،٨٠٠
حديد قضبان	٧،٧٨٨	فحم حجري مندمج	١،٣٢٩
حديد مسيح	٧،٢٠٧	كهربان	١،٠٧٨
قصدير مسيح	٧،٢٩١	صوديوم	٠،٧٧٣
حديد زهر	٧،٠٥٣	ثلج	٠،٩٣٠
خارصين مسيح	٦،٨٦١	بوتاسيوم	٠،٨٦٥

(المبحث الرابع في الوزن النوعي للسائلات)

الاولى طريقة الميزان الايدروستاتيكي كيفية العمل بها أن يعلق في كلاب أحدى كفتي الميزان جسم ليس للسائل المقصود معرفة وزنه النوعي تأثير كيماوي عليه ككرة من بلاتين مثلا ثم توزن هذه الكرة على التوالي في الهواء ثم في الماء المقطر درجة ٤+ ثم في السائل المعلوم ويعين فقد الوزن الذي حصل لهذه الكرة في الماء وفي السائل الثاني فيحصل حينئذ عددان يدلان في حجم معين على وزن الماء ووزن السائل المعلوم وبناء على ذلك فلا يكون الا قسمة الوزن الثاني على الوزن الاول

ولكن

وليكن پ وزن كرة البلاتين فى الهواء و پَ وزنها فى الماء و پً وزنها فى السائل الثانى و د الوزن النوعى لهذا السائل فوزن الماء المزوى بكرة البلاتين يكون پ ـ پَ ووزن السائل الثانى پ ـ پً ينتج من ذلك د = (پ ـ پً) / (پ ـ پَ)

الثانية طريقة اريومتر فرانهيت اريومتر فرانهيت شكل ٤٣ طافئة معدّة لاخذ الاوزان النوعية للسائلات وشكله مشابه لشكل أريومتر نيكولسن لكن ليس له كفة فى جزئه السفلى ويكون من الزجاج لكى يمكن وضعه فى جميع السوائل المختلفة وساقه يحمل أيضا نقطة تهفهف معدّة للحصول على حجم ثابت بغطاسه فى السوائل وبالجملة فهو مصبر فى جزئه السفلى بكرة صغيرة ملآنة بالزيبق

شكل ٤٤

وقبل التجربة بهذا الاريومتر يعين وزنه بالضبط ثم يوضع فى مخبار ملآن بالماء وتضاف وزنات فى كفته العليا الى أن تصل نقطة تهفهفه لاستواء السائل وفى هذه الحالة بمقتضى الشرط الاول من موازنة الاجسام الطافئة أعنى عندما يكون مركز التثاقل أسفل مركز الضغط فمجموع وزن الاريومتر والوزنات المضافة فى الكفة يبين وزن حجم من الماء مساو لوزن الجزء المغمور من الاريومتر وبهذه الكيفية يعين وزن حجم مساو له من السائل المقصود معرفة وزنه النوعى ولم يبق الا قسمة الوزن الاخير على الوزن الاوّل

وأريومتر فرانهيت وأريومتر نيكولسن لا يعطيان نفس التدقيق الذى يعطيه الميزان الايدروستاتيكى فى تعيين الاوزان النوعية

الثالثة طريقة الدورق هذه الطريقة غايتها أخذ دورق صغير من زجاج مشابه للدورق المستعمل للوزن النوعى للاجسام الصلبة المتقدّم فى شكل ٤٢ ووزنه فارغا ثم يوزن ملآنا بالماء ثم بالسائل المراد معرفة وزنه النوعى على التوالى فاذا طرح حينئذ وزن الدورق الزجاج من الوزن المتحصل فى كل من الوزنين الاخيرين تحصل وزن الماء ووزن السائل ومنهما يستنتج الوزن النوعى المبحوث عنه

(المبحث الخامس فى مراعاة درجة الحرارة فى البحث عن الاوزان النوعية)

حيث ان حجم الاجسام يزداد مع ازدياد درجة حرارتها وأن هذه الزيادة تتغير من جسم الى اخر ينتج من ذلك أن الوزن النوعى لاى جسم لا يكون واحدا فى درجات الحرارة المختلفة ولهذا انتخبت درجة ثابتة لتعيين الاوزان النوعية وبناء على ذلك وافق أن يصير الماء فى درجة ٤ + لانها هى الدرجة التى تقابل غاية تركزه وأما الاجسام الاخر الصلبة والسائلة فتفرض فى الصفر وهذه الشروط لا تكون مستوفية عند تعين أى وزن نوعى وسنشاهد عند دراسة الحرارة التعديلات المعمولة للرجوع الى هذه الدرجات

(الوزن النوعى للسائلات فى الصفر بالنسبة لوزن الماء المقطر درجة ٤ + المأخوذ وحدة)

زيبق	١٣ , ٥٠٦	ماء مقطر درجة ٤ +	١ , ٠٠٠
حمض كبريتيك	١ , ٨١١	ماء مقطر درجة الصفر	٠ , ٩٩٩٨
حمض كلورايدريك	١ , ٣١	زيت الزيتون	٠ , ٩١٥
حمض أزوتيك	١ , ٢١٧	عطر الترمنتينا	٠ , ٨٧٠
لبن	١ , ٠٣٠	زيت النفط	٠ , ٨٤٧
ماء البحر	١ , ٠٢٦	كؤل خالص	٠ , ٨١٥
نبيذ بوردو	٠ , ٩٩٤	اتير كبريتيك	٠ , ٧٣٦

(استعمال جدولى الاوزان النوعية)

جدولا الاوزان النوعية لهما استعمالات عديدة فى المينيرالوجيه أى علم المعادن لانهما يعطيان وصفا مميزا لمعرفة الانواع المعدنية على حسب كثافتها

ويستعملان أيضا لايجاد ثقل الجسم المعلوم الحجم وبالعكس لايجاد الحجم متى كان الثقل معلوما

(الفصل السابع فى الاريومترذى الحجم المختلف وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى أنواع الاريومترا المختلفة)

أريومتر نيكولسن وأريومتر فرانهيت السابق ذكرهما يقال لهما ذوا الحجم المستمر والوزن المختلف لانهما ينغمران دائما بمقدار واحد باضافة وزنات لهما تختلف باختلاف الاجسام الصلبة

الصلبة أو السائلة الواقع عليها التجربة وتصنع أيضا أرومترات ذوات أحجام مختلفة وأوزان ثابتة أعنى ليس لها نقطة تهفهف ثابتة وثقلها دائما واحد وهذه الآلات المسماة ميزان الاملاح وميزان الحوامض وميزان الارواح ليست معدة لتعيين الوزن النوعى للسوائل بل لمعرفة كثرة أو قلة تركز المحاليل الملحية أو الحوامض والكؤل

(المبحث الثانى فى أريومتر بوميه)

انشأ بوميه الاجزائى الفرنساوى أريومترذا وزن مستمر كثير الاستعمال وهو طافئة من زجاج مكونة من ساق اب شكل ٤٤ ملحوم فيه كرة ملآنة بالهواء وأسفل هذه الكرة كرة صغيرة ملآنة بالزيبق تخدم صابورة ويوجد كيفيتان لتدريج هذه الآلة على حسب استعمالها للسوائل الاكثف من الماء أو الاقل منه كثافة

شكل ٤٤

ا

ب

فى الحالة الاولى ينظم ثقلها بحيث تنغمر فى الماء المقطر درجة ٤+ تقريبا للطرف العلوى للساق فى نقطة ا التى فيها يعلم الصفر ولاجل تتميم تدريج الآلة يصنع محلول من ٨٥ جزأ من الماء بالوزن و١٥ جزأ من ملح الطعام وتغمر فيه الآلة وحيث ان هذا المحلول أكثف من الماء النقى فلا تنغمر فيه الآلة الا الى نقطة ب وفيها يعلم ١٥ ثم تقسم المسافة التى بين نقطتى ا و ب ١٥ جزأ متساوية وبادامة التقسيم هكذا الى أسفل الساق يتم تدريج الآلة ثم تبين الاقسام على شريط من الورق يوضع داخل الساق

والاريومتر المصنوع بهذه الكيفية لا يستعمل الا للسوائل الاكثف من الماء كالحوامض والمحاليل الملحية ويكون مقياسا للحوامض والاملاح معا

وفى الحالة الثانية أى للسوائل الاقل كثافة من الماء يكون صفره أسفل الساق وتدريجه مخالفا للتدريج الاول وأخذ بوميه للصفر نقطة تهفهف الآلة فى محلول مكون من ٩٠ جزأ من الماء بالوزن و ١٠ أجزاء من ملح الطعام وأخذ لرقم ١٠ نقطة تهفهف الآلة فى الماء المقطر وبعد ذلك قسم المسافة بين النقطتين الى عشرة أجزاء متساوية

وبادامة التقسيم هكذا الى نهاية الساق ينتهى تقسيم الآلة وهذا هو مقياس السوائل الروحية

ونوعا أريومتر بوميه المذكوران مدرّجان بطريقة اختيارية ولا يعرف بهما كثافة السوائل ولا مقادير الاملاح المذابة ومع ذلك فاستعمالهما مفيد لمعرفة وصول المحلول الملحى أو الحمضى لدرجة تشبع معينة وبالاختصار تعرف بهما العلامات التى تصنع بها المخاليط أو المحاليل بمقادير معلومة وان لم تكن بالضبط فهى كافية فى عدة أحوال مثال ذلك فى عمل الاشربة المعتادة ثبت أن مقياس الاملاح لبوميه ينبغى أن يعلم ٣٥ درجة على البارد فى الشراب الجيد الصناعة وحينئذ فبهذه الآلة يسهل على الصانع معرفة درجة تركز شرابه

(المبحث الثالث فى الالكؤمتر المائينى لجيلوساك)

الكؤمتر جيلوساك آلة معدة لقياس قوة السوائل الروحية فى درجة ١٥ + أعنى أنها تبين عدد الاجزاء المائينية بالحجم من الكؤل الخالص المحتوية عليه هذه السوائل فى درجة الحرارة المذكورة وشكل الالكؤمتر كشكل أريومتر بوميه شكل ٤٤ لكن تدريجه المصنوع فى درجة ١٥ + يكون مخالفا والشريط الموضوع على الساق منقسم ١٠٠ جزء وكل قسم منها يدل على واحد مائينى بالحجم من الكؤل ومحل الصفر يقابل الماء المقطر أى استواؤه مع الماء المقطر عند غمر الآلة فيه ومحل ١٠٠ يقابل الكؤل الخالص أى استواؤه معه عند غمر الآلة فى الكؤل وبغمر الالكؤمتر فى سائل روحى حرارته ١٥ + تعرف قوّته الروحية مثال ذلك اذا انغمر الالكؤمتر فى روح العرقى الذى حرارته ١٥ + الى ٤٨ قسما دل ذلك على أن روح العرقى هذا محتوعلى ٤٨ مائينية من حجمه من الكؤل الخالص وباقى المائة ماء لانه معلوم أن السوائل المعروفة فى المتجر بالعرقى وبروح العرقى مخاليط من الماء والكؤل ويدرّج الالكؤمتر بغمره على التوالى فى مخاليط مكوّنة من الكؤل الخالص والماء بمقادير محدودة لكن لاجل أن يكون التدريج مضبوطا يلزم احتساب انقباض الحجم أى نقصه الذى يحصل للكؤل والماء عند خلطهما ولاجل ذلك يؤخذ مخبار ذو قاعدة مدرّج ١٠٠ جزء متساوية ويصب فيه من الكؤل الخالص حتى يصل الى قسم ٩٥ ثم يتمم ملؤه بالماء المقطر لحد ١٠٠ فيتحصل حينئذ مخلوط محتو على ٩٥ حجما من الكؤل الخالص فى المائة وتغمر فيه الآلة وتعلم ٩٥ فى نقطة التهفهف ثم يفرغ المخبار

ويصب

و يصب فيه ٩٠ من الكؤل الخالص ويتمم أيضا ملؤه بالماء المقطر لحد ١٠٠ فيتحصل مخلوط محتوعلى ٩٠ من الكؤل الخالص بالحجم فى المائة وهكذا على التوالى من ٥ الى ٥ مع الاعتناء بغمر الآلة كل مرة فى المخاليط المختلفة وكتابة ٨٠ و٨٥ و٩٠ الى آخره على الساق وأخيرا تقسم المسافات من ٥ الى ٥ خمسة أجزاء متساوية فتتدرج الآلة

ومن المهم ملاحظة حصول تدريج الالكؤمتر فى درجة ١٥ + لان دلالاته لاتكون مضبوطة الا فى هذه الدرجة وفى الواقع أن السوائل فى الدرجات المرتفعة أو المنخفضة عن درجة ١٥ + تتمدد أوتنقبض ويكثر انغمار الالكؤمتر أو يقل فيها أعنى أن الحرارة تغير حجم السائل الروحى وتغير دلالات الالكؤمتر ومن ذلك ينشأ سببان مغلطان يمكن باجتماعهما أن يزيدا عن ١٢ فى المائة من قيمة السائل من الصفر الى ٣٠ درجة + وقد وضع المعلم جيلوساك لتصليح هذين السببين المغلطين جداول فى الخط الرأسى منها درجات الحرارة من الصفر الى ٣٠ درجه + وفى الخط الافقى منها درجات الالكؤمتر من الصفر الى ١٠٠ ثم بتتبع الخط الرأسى النازل من الصف المحتوى على درجات الالكؤمتر كما يفعل ذلك فى جدول الضرب المعتاد يوجد فى نقطة تقابله مع الخط الافقى الخارج من الصف الذى فيه درجات الحرارة العدد الدال على المقدار الحقيقى من الكؤل الخالص فى السائل الروحى مثلا اذا كان سائل روحى فى حرارة ٢٢ درجة + وبين الالكؤمتر بغمره فيه ٣٦ قسما يوجد فى الجدول أن مقدار الكؤل الحقيقى لهذا السائل المرجع الى درجة ١٥ + هو ٣٣ أعنى انه يحتوى على ٣٣ مائينية من الكؤل بالحجم و ٦٧ مائينية من الماء

والكؤمتر جيلوساك بغمره فى النبيذ لا يبين فيه مقدار الكؤل الخالص المحتوى عليه بسبب الاجسام الغريبة المحتوى عليها لكن اذا فصل الكؤل الموجود فى النبيذ عن هذه الاجسام بالتقطير صار الالكؤمتر مستعملا لذلك

(المبحث الرابع فى مقياس الاملاح المدرج على قاعدة الالكؤمتر المائينى)

يصنع أيضا مقياس للاملاح مدرج على قاعدة تدريج الالكؤمتر المائينى أعنى أنه يبين المقدار بالوزن من الملح المحلول فى سائل وصفره يقابل نقطة تهفهف غطسه فى الماء النقى وتدريجه يتكون بتذويب ٥ و١٠ و١٥ و٢٠ جراما من ملح معين فى ٩٥

و ٩٠ و ٨٥ و ٨٠ جراما من الماء النقى ثم غمر الآلة فى هذه المحاليل على التوالى و يعلم عليها ٥ و ١٠ و ١٥ و ٢٠ على حسب اختلاف التهفهف فى المحاليل المذكورة وقسمة كل مسافة خمسة أجزاء متساوية وعيب هذا المقياس فقط أنه غير عام أعنى أنه يلزم لكل نوع من الاملاح مقياس مخصوص فالمقياس المدرج بازوتات البوتاسا مثلا لا يعطى الادلالات كاذبة بالكلية فى محلول كربونات البوتاسا أو ملح آخر

و يصنع على نفس القاعدة المذكورة مقياس اللبن ومقياس النبيذ المعد كل منهما لمعرفة كمية الماء التى غشت بها السوائل المذكورة ولكن هذه الآلات لا تظهر فائدة حقيقية لان كثافة الالبان والانبذة كثيرة الاختلاف حتى الخالقة الغير مغشوشة وكثير من الاطباء يستعمل مقياس الابول مؤسسا على القاعدة المذكورة

(المبحث الخامس فى مقياس الكثافة أى الدنسيمتر)

مقياس الكثافة هو أرومتر مدرج بحيث تعرف به الكثافة النسبية للسوائل على حسب الدرجة التى يصل اليها بانغماره فى السوائل المذكورة ولم نذكر هنا الا مقياس الكثافة المنسوب الى جيلوساك

مقياس الكثافة أو مقياس الاجسام لجيلوساك مشابه بالكلية لاريومتر بومية ولا يخالفه الا فى التدريج المتغير على حسب كون الآلة معدة للسوائل الاكثف أو الاقل كثافة من الماء ففى الحالة الاولى تصير الآلة بحيث تنغمر فى الماء النقى الى نقطة ا كما فى شكل ٤٥ الموضوعة فى الطرف العلوى من الساق ثم ينتخب سائل تكون كثافته معروفة واكثر من كثافة الماء بنسبة ٤ الى ٣ مثلا و يغمر فيه الجهاز فلا ينزل الا النقطة ب من الساق وحينئذ اذا عبرنا بحرفى ف و فَ عن حجمى الآلة بانغمارها فى الماء وفى السائل الثانى كانت هذه الاجسام على حسب عكس كثافة هذين السائلين كما تقدم فى موازنة الاجسام الغاطسة والطافئة و يصير $\frac{ف}{فَ} = \frac{٣}{٤}$ وينتج ف $= \frac{٣}{٤}$ فَ فاذا بينا حينئذ حجم ف بمائة

بمائة صار حجم ف مبينا بخمسة وسبعين وبناء على ذلك تكتب ١٠٠ فى نقطة ا و ٧٥ فى نقطة ب وحيث أن حجم اب على حسب قيمة ف هو ربع ف فتقسم مسافة اب الى ٢٥ قسما متساوية وكل من هذه الاقسام يكون $\frac{1}{25}$ من اب أو $\frac{1}{100}$ من ف أعنى من الجسم الغاطس فى الماء النقى واخيرا يداوم التقسيم الى الجزء السفلى من الساق وهذا الساق ينبغى أن يكون قطره واحدا فى جميع طوله اذا عرفت ذلك فلاجل معرفة كثافة سائل كحمض الكبريتيك مثلا يكفى غمر الدنسيمتر فيه فاذا حصل التهفهف فى قسم ٥٤ دل ذلك على ان الحجم المنزوى من السائل مبين باربعة وخمسين حيث يكون حجم الماء ف مبينا بمائة وحيث أن كل جسم طافئ يزيح ثقلا من السائل مساويا لثقله كما تقدم فيتبع ذلك أن حجم الماء ف أو ١٠٠ وحجم حمض الكبريتيك ٥٤ يكون ثقلهما واحدا وكذا ثقل الآلة لكن فى الاثقال المتساوية تكون أحجام الاجسام على حسب عكس كثافتها وبناء على ذلك اذا رمزنا بحرف ز لكثافة حمض الكبريتيك وكثافة الماء مقدرة بواحد تحصلت المساواة $\frac{ز}{1} = \frac{100}{54}$ وينتج $ز = \frac{100}{54} =$ ١٫٨٥

واذا كان الدنسيمتر معدا للسوائل الاقل كثافة من الماء يلزم تصييره بحيث توجد نقطة ١٠٠ للماء المقطر فى الجزء السفلى من الساق وبعد ذلك يثبت فى الطرف العلوى من الساق ثقل يكون ربع ثقل الآلة وحيث أن ثقل الآلة حين كانت وحدها كان مبينا بمائة فيكون مجموع ثقلها الآن ١٢٥ ويكتب حينئذ عدد ١٢٥ فى محل نقطة التهفهف بعد غمر الآلة فى الماء ثانيا وبعد ذلك تقسم المسافة بين النقطتين وهما ١٠٠ و ١٢٥ الى ٢٥ قسما متساوية ويستمر التقسيم هكذا الى قمة الساق

(المبحث السادس فى الخواص الشعرية)

الظواهر الشعرية تحدث من تلامس الاجسام الصلبة والسائلة جملة ظواهر تسمى بالظواهر الشعرية لكونها تشاهد بالخصوص فى أنابيب ضيقة القطر جدا شبيه بالشعرة

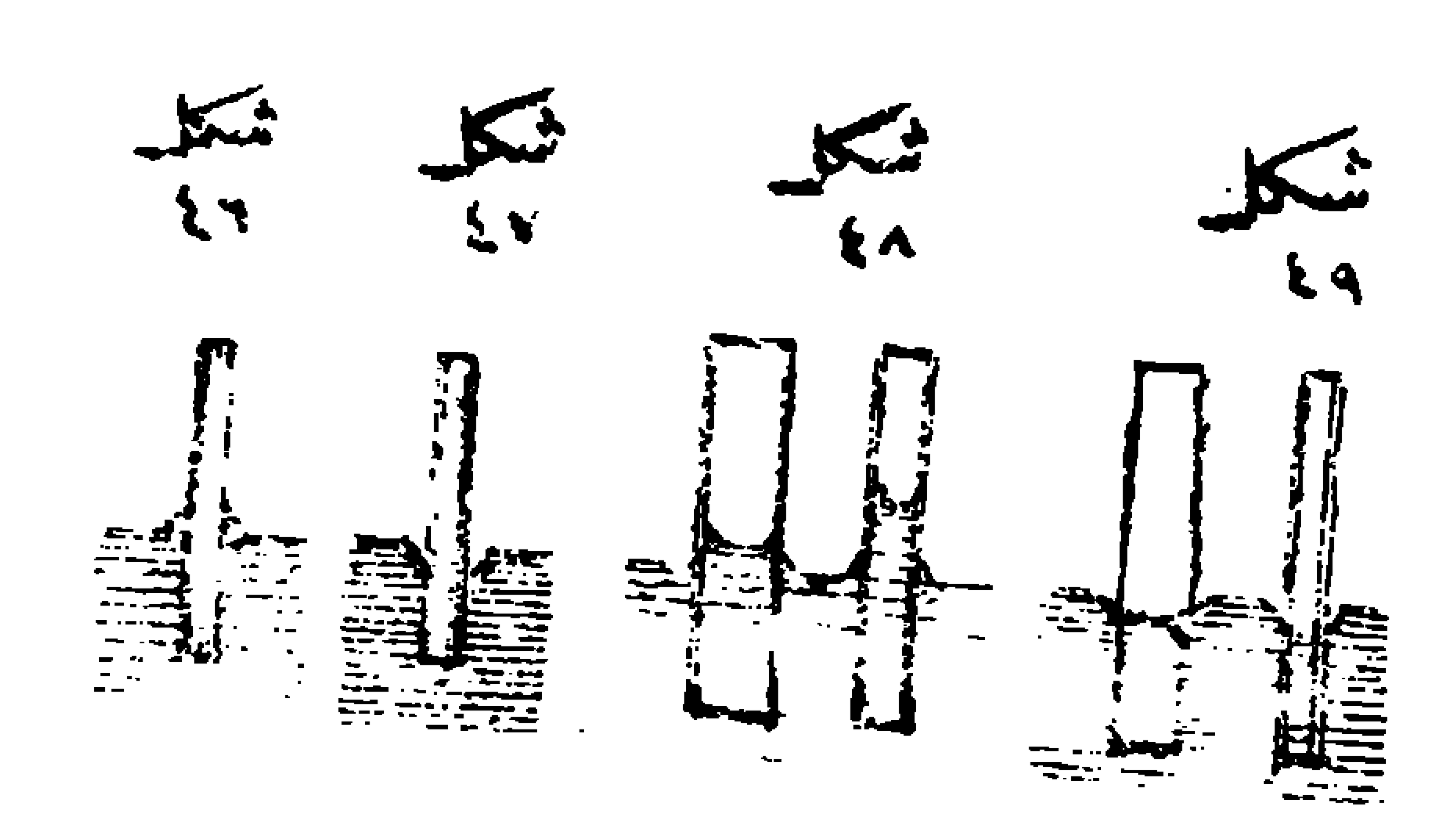
والفعل الشعرى وان كان كثير الاختلاف الا أنه ينسب دائما للجذب المشترك بين الاجزاء السائلة والاجسام الصلبة ففى غمر جسم صلب فى سائل يبله ارتفع السائل حول

الجسم الصاب حيث انه ليس منقادا لقوانين الايدروستاتيك وأخذ سطحه الافقى شكلا مقعرا كما يظهر من شكل ٤٦

وبالعكس ان كان الجسم المغمور لا يبتل بالسائل كما يحصل عند غمر الزجاج فى الزيبق انخفض السائل وأخذ سطحه شكلا محدبا حول الجسم المغمور كما يظهر من شكل ٤٧

ويحدث سطح السائل عين التحدب أو التقعر على جدران الاناء الحاوى له على حسب كونه يبل الجدران أم لا

وتصير هذه الظواهر واضحة متى غمر فى السائل أنابيب من زجاج مجوفة صغيرة القطر بدلا عن غمر الانابيب المحيطة فيه وعلى حسب كون هذه الانابيب تبتل أو لا تبتل بالسائل يحدث ارتفاع أو انخفاض يكون أعظم كلما كان القطر صغيرا كما فى شكلى ٤٨ و ٤٩ فتى ابتلت الانابيب بالسائل أخذ سطحه شكلا مقعرا يسمى بالمينسك المقعر شكل ٤٩ ومتى لم تبتل الانابيب كان لسطح السائل مينيسك محدب كما فى شكل ٤٩



ومن أراد معرفة قوانين الفعل الشعرى وما يتعلق به فعليه بالمطولات

(الباب الرابع فى الكلام على الغازات وفيه فصول)

(الفصل الاول فى خواص الغازات والهوى الجوى والبارومترات وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى الخواص الطبيعية للغازات)

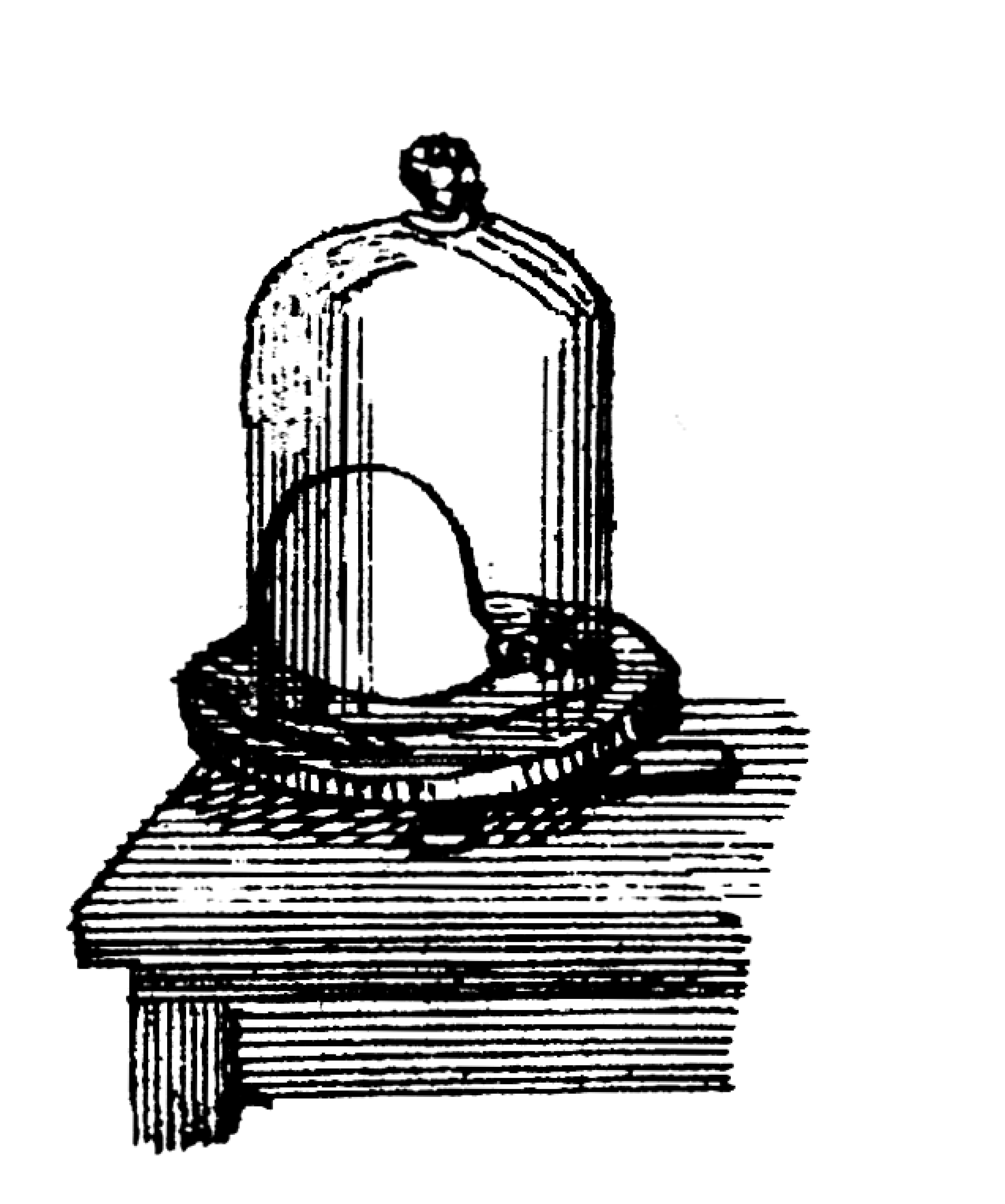
الغازات أو السوائل الهوائية أجسام أجزاؤها تامة الحركة فى حالة دفع ثابتة تسمى بالتمدد وبقوة المرونة ومن ذلك تسمى الغازات بالسوائل المرنة

وتنقسم السوائل المرنة الى قسمين غازات خالدة أوحقيقية وغازات غير خالدة أو أبخرة فالاولى هى التى تبقى على الحالة الهوائيـة اذا عرضت لضغط وانخفاض درجة الحرارة وذلك كالاوكسيجين والايدروجين والازوت وثانى أوكسيد الازوت واوكسيد الكربون والثانية بعكس ذلك أعنى أنها تنتقل بسهولة كثيرة أوقليلة الى حالة السيولة سواء كان بزيادة الضغط أوبالبرودة وهذا التمييز ليس منتظما دائما الان كثيرا من الغازات المعتبرة خالدة قداماعها المعلم فراداى وطبيعيون آخرون وينبغى القول بمجموعة الغازات التى لم تميع الى الان اذا عرضت لضغط و برد كاف ولاجل ذلك يعطى اسم غاز للاجسام التى لاتظهر الاعلى الحالة الغازية فى الضغط المعتاد والحرارة الاعتيادية بخلاف لفظة بخار فانها تطلق على الحالة الهوائية التى تأخذها الاجسام السائلة بتأثير الحرارة كالماء والكؤل والاثير فى الضغط وفى الحرارة المعتادين

والغازات المعروفة الان فى الكيميا ٤٣ منها أربعة بسيطة وهى الاوكسيجين والايدروجين والازوت والكلور وسبعة توجد متكونة فى الطبيعة وهى الاوكسيجين والازوت وحمض الكربونيك واول وثانى كربور الايدروجين والنوشادر وحمض الكبريتوز وباقيها لايتحصل الا بالتأثير الكيماوى

(المبحث الثانى فى قوة تمدد الغازات)

قوة تمدد الغازات أعنى ميلها الاخذ حجم أكبر من حجمها الاصلى تثبت بالتجربة الآتية وهى أن يوضع تحت ناقوس الآلة المفرغة مثانة ذات حنفية محتوية على كمية قليل من الهواء قد بلت بالماء ابتداء لتصير كثيرة السلاسة فتوجد الموازنة أولا بين قوة مرونة الهواء الذى تحت الناقوس وقوة مرونة الهواء المنحصر فى المثانة لكن بمجرد الابتداء فى عمل الفراغ يضعف الضغط الواقع على المثانة فتنتفخ شيئا فشيئا كما اذا نفخ فيها كما فى شكل ٥٠



وهذا يثبت قوّة مرونة الغاز المحتوية هى عليه ومتى ادخل الهواء الظاهرى بعد ذلك بواسطة حنفية معدّة لذلك يشاهد انضغاط المثانة ثانيا بالهواء الداخل وتاخذ حجمها الاصلى وبهذه الكيفية تثبت قوّة تمدد جميع الغازات

والظاهر أن أى غاز منحصر فى اناء مفتوح يلزم ان يتصاعد منه بالنظر لقوة تمدده وفى الواقع لا يحصل هذا الا اذا كان الاناء فى الفراغ لكن الذى يمنع خروج الغاز فى الاحوال المعتادة هو ضغط الهواء الظاهرى ويكون ذلك اكيدا اذا كان السائل المرن المنحصر فى الاناء هو نفس الهواء وفى الواقع أوضحت التجربة أنه لا يمكن موازنة قوّة تمدد غاز الا بضغط حاصل من كتلة غازية من جنسه فضغط الهواء مثلا لا يمكنه أن يوازن قوّة تمدد الايدروجين أو حمض الكربونيك وحينئذ فهذان الغازان لا ينتشران كما ينتشران فى الفراغ بل يختلط الغاز الداخل مع الخارج بسرعة وسيثبت عن قريب أن قوّة مرونة الغازات تكون دائما مساوية ومضادّة للضغط الذى تتحمله وأن قوّة المرونة هذه تزداد مع ازدياد درجة الحرارة

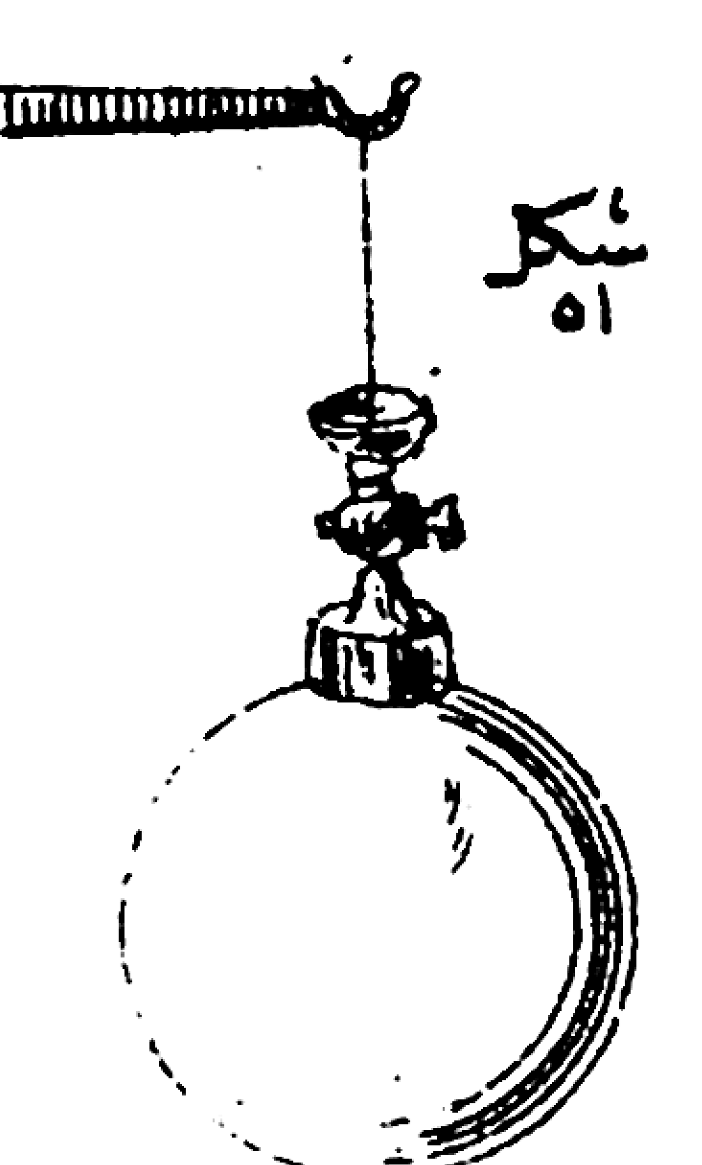
(المبحث الثالث فى ثقل الغازات)

تظهر الغازات أنها خارجة عن قوانين التثاقل بالنظر لكثرة سيولتها وتمددها الخاص بها لكن هذه السوائل اللطيفة منقادة لقوة التثاقل كالاجسام الصلبة والسائلة

ولاجل

ولاجل اثبات ثقل الغازات يعلق بأسفل كفة ميزان كثير الاحساس كرة من زجاج تسع من ثلاث ليترات الى أربع عنقها موشح بحنفية تغلق غلقا محكما كما فى شكل ٥١

ثم توزن هذه الكرة أولا مملآنة بالهواء ثم توزن بعد تفريغها بواسطة الآلة المفرغة فيوجد أن الوزن الثانى أقل من الاول بكثير من الجرامات وهذا الفرق هو الذى يدل على ثقل الهواء المستخرج من الكرة وبتقدير حجم الكرة أولا باللتر يوجد بهذه الطريقة أن الليتر من الهواء الخالص فى درجة الصفر وفى ضغط الجو المعتاد ٠,٧٦م يزن ١,٢٩٣ جراما أو تقريبا ١,٣ والليتر من الايدروجين الذى هو أخف الغازات يزن ٠,٠٩ من جرام أعنى أنه أخف من الهواء أربع عشرة مرة ونصفا تقريبا والليتر من غاز حمض اليودايدريك الذى هو أثقل جميع الغازات يزن ٥,٧٧٦ جراما



(المبحث الرابع فى كثافة الهواء بالنسبة للماء)

حيث أن الليتر من الهواء يزن ١,٢٩٣ جراما والليتر من الماء يزن ١٠٠٠ جرام فاذا قسم الوزن الاول على الثانى فالناتج المتحصل هو كثافة الهواء بالنسبة للماء وهو ٠,٠٠١٢٩٣ وحيث أن هذا العدد أصغر من وحدة كثافة الماء ٧٧٣ مرة ينتج من ذلك أن الحجم من الماء يزن أكثر من حجم مساوله من الهواء ٧٧٣ مرة حالة كون الهواء فى درجة الصفر وفى ضغط ٠,٧٦م والماء فى درجة ٤ + والعدد ٠,٠٠١٢٩٣ الدال على الوزن النوعى للهواء بالنسبة للماء له استعمال فى معادلات كثيرة ويسهل استخراجه لانه ينتج من عدد ١,٢٩٣ جراما بتأخير الشرطة ثلاث خانات جهة الشمال

(المبحث الخامس فى الضغط الحاصل بالغازات أى ضغط الغازات)

تحدث الغازات على أجزاء كتلها وعلى جدران الاوانى الحاوية لها نوعين من الضغط أحدهما ناشئ عن قوة مرونتها بقطع النظر عن قوة التثاقل وثانيهما ناشئ عن تأثير قوة التثاقل

فاذا كانت كتلة غازية فى حالة توازن فى اناء وقطعنا النظر عن ثقلها ونظرنا القوة تمددها فان الضغوط المنسوبة الى هذه القوة تنتقل بشدة واحدة على جميع نقط الجدران وعلى جميع الكتلة الغازية لان القوة الدافعة الحاصلة بين الاجزاء تكون واحدة فى جميع النقط وتؤثر بالسوية فى جميع الجهات وهذا ناشئ عن مرونة الغازات وسيولتها التامة لكن اذا نظرنا التأثير التثاقل نجد أن هذه القوة تولد ضغوطا منقادة لنفس قوانين السوائل أعنى أنها تزداد بالنسبة لكثافة الغازات و بالنسبة للعمق وأنها تكون ثابتة على نفس الطبقة الواحدة الافقية وليست متعلقة بشكل الكتلة الغازية

وأما قوة مرونة الغازات حيث أنها فى كل نقطة مساوية ومضادة للضغط الذى تحمله هذه النقطة فتزداد بالتبعية لازدياد العمق

والضغوط التى تنتج عن الكتل الغازية الصغيرة تكون ضعيفة جدا ويمكن قطع النظر عنها لكن كتل الغازات العظيمة كالهواء الجوى تكون فيها الضغوط المنسوبة لقوة التثاقل عظيمة ويهتم باحتسابها

(المبحث السادس فى الجو وتركيبه)*

الجو هو الطبقة الهوائية التى تغلف الكرة الارضية ومجذوبة معها فى المسافة وكان الهواء معتبرا عند القدماء من جملة العناصر الاربعة القائلين بها وقد اظهرت الكيميا المتأخرة أنه مخلوط من الازوت والاوكسيجين بنسبة ٨٠ و٢٠ من الاوكسيجين و٧٩,٢٠ من الازوت بالحجم وبالوزن من ٠١ ر٢٣ من الاوكسيجين و٩٩ ر٧٦ من الازوت ويوجد أيضا فى الهواء الجوى بخار ماء بمقادير مختلفة على حسب درجة الحرارة والفصول والاقاليم واتجاه الرياح وبالجملة فيحتوى الهواء على ٣ الى ٦ من عشرة آلاف من حمض الكربونيك بالحجم وحمض الكربونيك الموجود فى الهواء ناشئ عن تنفس الحيوانات والاحتراقات وتحليل الاجسام العضوية

ومع هذا التولد الدائم لحمض الكربونيك على سطح الارض فلا يظهر تنويع فى تركيب الهواء الجوى وهذا ناشئ عن كون الاجزاء النباتية الخضراء تحلل بالفعل الحيوى النباتى حمض الكربونيك بمساعدة ضوء الشمس وتأخذ كربونه وترجع للجو الاوكسيجين الذى رفع منه بتنفس الحيوانات والاحتراقات

(المبحث السابع فى ضغط الجوّ وارتفاعه)

حيث أن الهواء ثقيل ينتج من ذلك أنه اذا توهمنا أن الجوّ منقسم الى طبقات أفقية فان طبقاته العليا تضغط بثقلها الطبقات السفلى ويتناقص هذا الضغط مع تناقص عدد الطبقات ويكون الهواء أقل انضغاطا وأكثر تخلخلا كلما ارتفعنا كثيرا فى الجوّ

وبالنظر لقوة تمدد الهواء يظهر أن جزيئاته يلزمها أن تنتشر بلانهاية فى المسافة الكوكبية الا أن قوة تمدد الهواء هذه تأخذ فى التناقص شيئا فشيئا بفعل التمدد نفسه وخلاف ذلك فانها تضعف بانخفاض درجة الحرارة فى الجهة العليا من الجوّ بحيث يوجد زمن تنتظم فيه الموازنة بين قوة تمدد جزيئات الهواء وتأثير التثاقل الذى يجذبها نحو مركز الارض ويستنتج من ذلك أنه يلزم أن يكون الجوّ محدودا

وعلى حسب ثقل الجوّ وتناقص كثافته ومشاهدة الظواهر الضوئية قبل بزوغ الشمس وبعد غروبها قدر ارتفاعه من ٥٠ الى ٦٠ كيلومترا وفيما وراء ذلك هواء متخلخل بالكلية وفى ارتفاع ١٠٠ كيلومتر تقريبا فراغ حقيقى

وبمقتضى المشاهدات الجديدة المفعولة خصوصا فى ريوجانير وعلى الاقواس الضوئية قبل بزوغ الشمس وبعد غروبها وعلى حذا الاستقطاب الجوى وجد المعلم ليبرأن ارتفاع الجوّ من ٣٢٠ الى ٣٤٠ كيلومتر وهذا الارتفاع يخالف كثيرا الارتفاع المقول به الى الآن

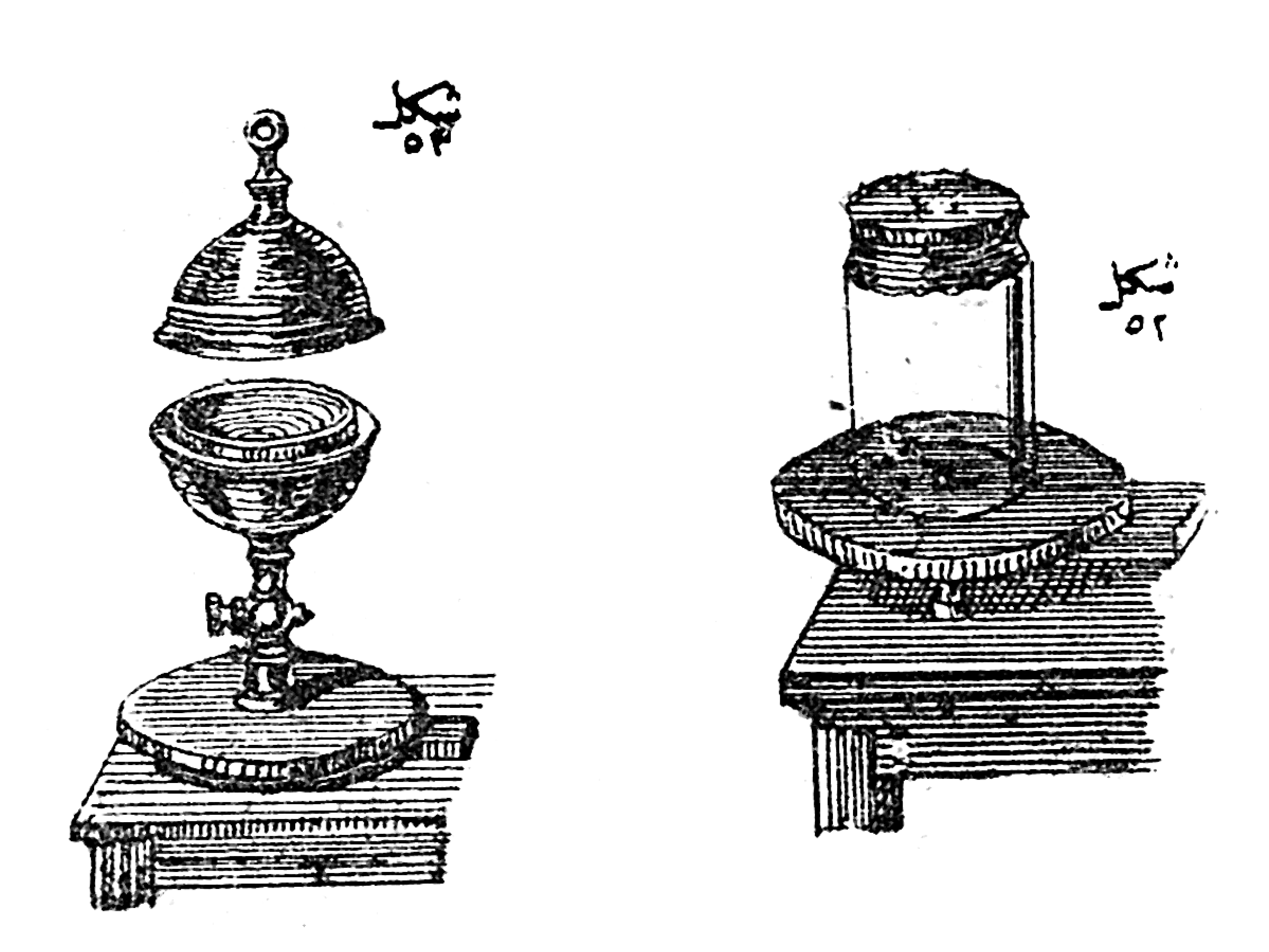
وحيث عرف فيما تقدم أن الليتر من الهواء يزن ١,٣ جراما يعلم من ذلك أن مجموع الجوّ يلزم أن يحدث على سطح الكرة ضغطا عظيما ويثبت وجود هذا الضغط بالتجارب الآتية

(المبحث الثامن فى ثقب المثانة ونصفى كرة مجدبورج)

تفعل هذه التجربة بواسطة اسطوانة من زجاج تسد سدا محكما من جزئها العلوى بغشاء من الامعاء وجزؤها السفلى الذى تكون حافته متساوية ومدهونة بالشحم يوضع على موصل الآلة المفرغة كما فى شكل ٥٢

فبمجرّد عمل الفراغ فى هذه الاسطوانة ينخفض الغشاء تحت الضغط الجوى الواقع عليه ويتمزق حالا بفرقعة شديدة متسببة عن دخول الهواء بسرعة

نصفى كرة مجدبورج نقب المثانة لايثبت ضغط الجوّ الامن أعلى الى أسفل ويثبت الضغط من جميع الجهات بواسطة نصفى كرة مجدبورج وهذا الجهاز متكون من نصفى كرة مجوفة من نحاس قطرها من ١٠ الى ١٢ سنتيمترا شكل ٥٣



حافتهما موشحة بقطعة من جلد حلقية مدهونة بالشحم لتحفظ الفراغ عندما تكون هذه الحوافى متلامسة وأحد نصفى الكرة يحمل حنفية تركب على موصل الآلة المفرغة والاخرى تحمل حلقة تخدم مقبضا لامساكها وجذبها فمادام نصفا الكرة متلامسين ومشتملين على الهواء أمكن فصلهما عن بعض بسهولة لانه توجد موازنة بين قوة تمدد الهواء الداخلى والضغط الجوى الخارجى لكن متى فعل الفراغ لايمكن فصلهما عن بعض بدون قوة شديدة وهذا يثبت أن ضغط الجو حاصل من جميع الجهات

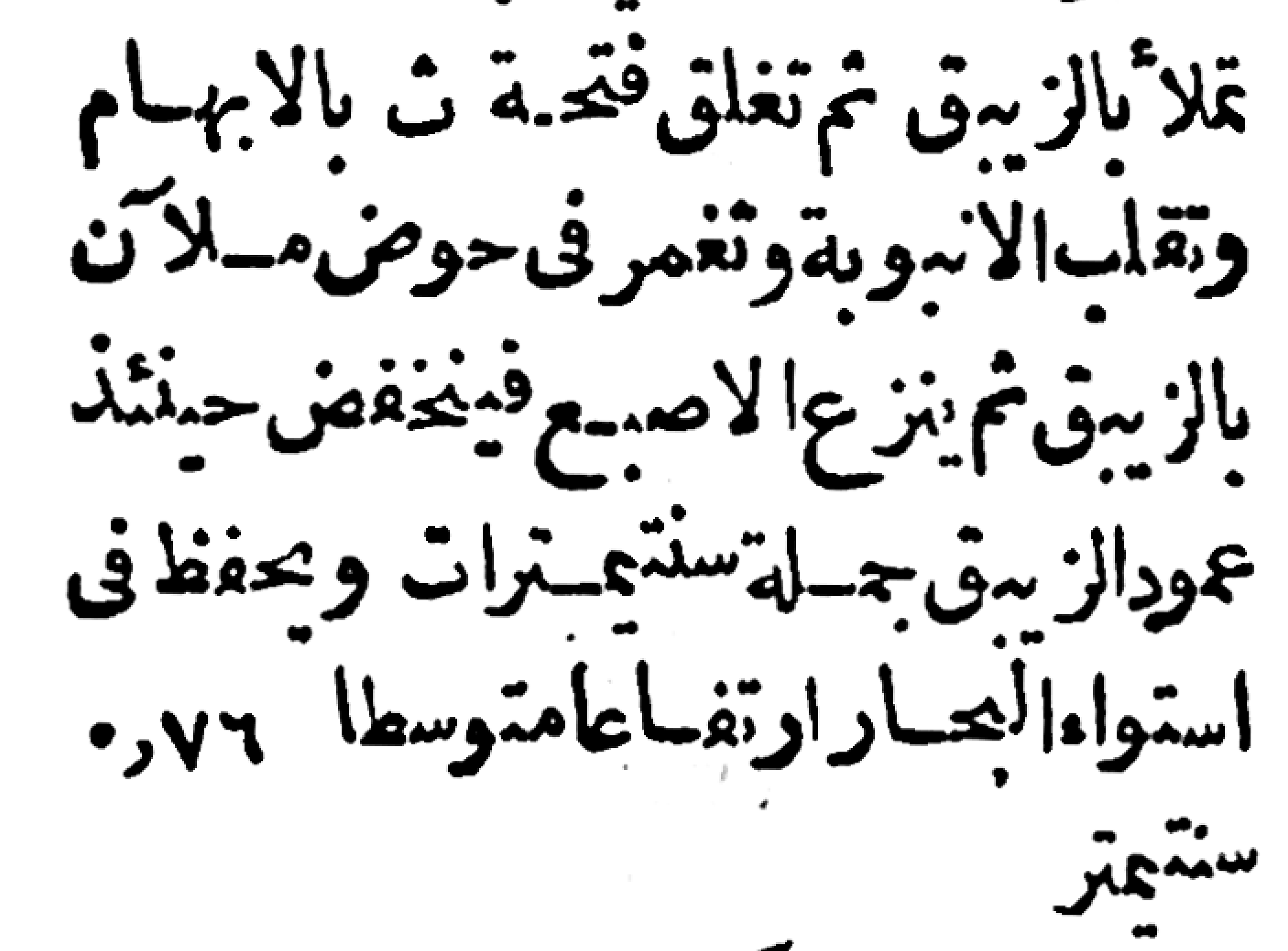
*(الفصل

(الفصل الثانى فى قياس ضغط الجوّ وفيه مباحث)

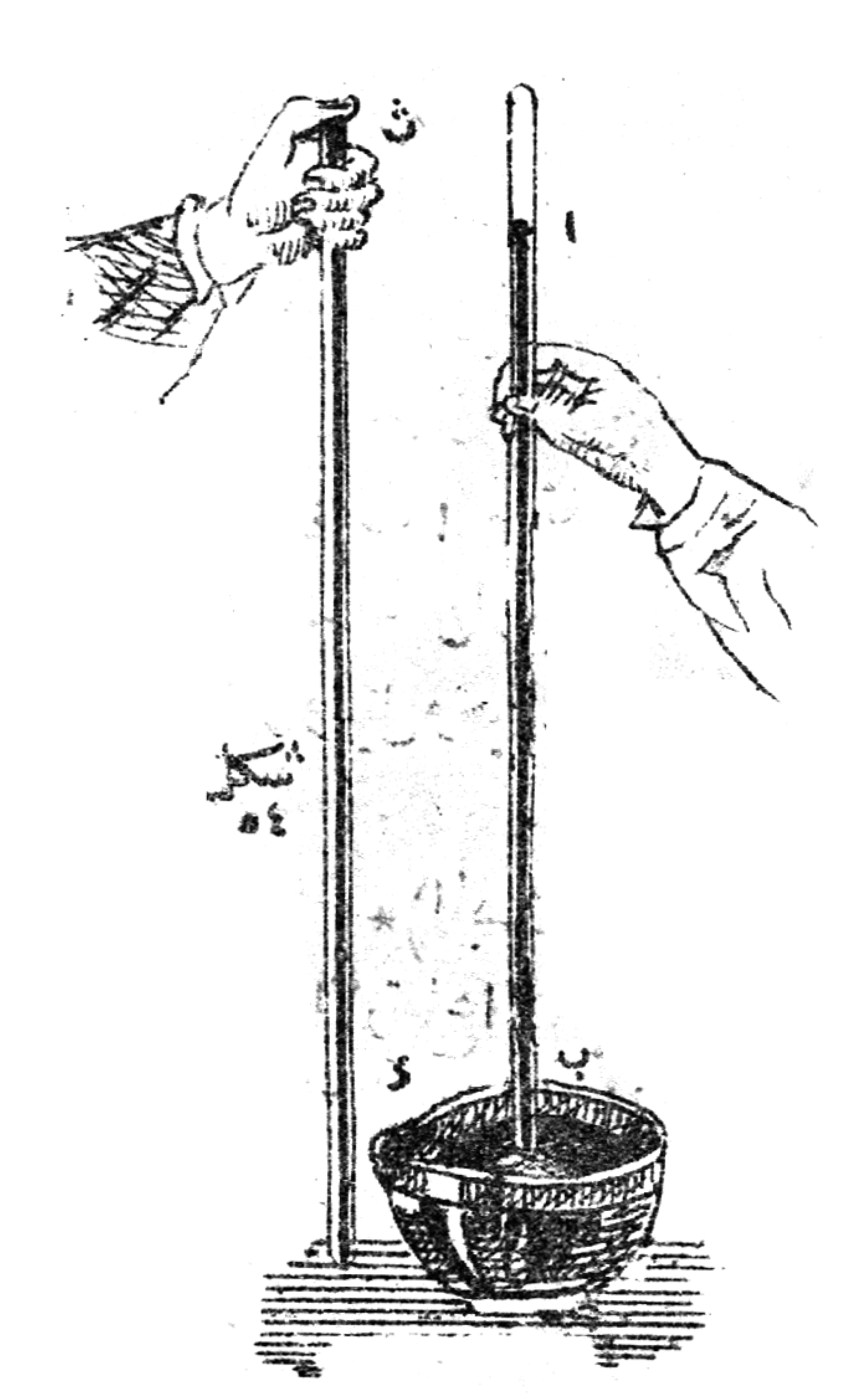
(المبحث الاول فى تجربة تروشيلى)

نصف الكرة المتقدمين يثبتان ضغط الجوّ لكن لا يعرف بهما مقداره والتجربة الآتية التى فعلها تروشيلى تلميذ غليلى سنة ١٦٤٣ مسيحية تعطى مقدار ثقل الجوّ بالضبط

وهى أن تؤخذ أنبوبة من زجاج طولها ٨٠ سنتيمترا اقله وقطرها من ٥ الى ٦ مليمتر مسدودة أحد الطرفين وبعد وضعها فى الوضع الرأسى ث ء شكل ٥٤



تملأ بالزيبق ثم تغلق فتحة ث بالابهام وتقلب الانبوبة وتغمر فى حوض ملآن بالزيبق ثم ينزع الاصبع فينخفض حينئذ عمود الزيبق جملة سنتيمترات ويحفظ فى استواء البحار ارتفاعا متوسطا ٧٦ر٠ سنتيمتر



ولاجل ايضاح كيفية بقاء عمود الزيبق هذا متعلقا فى الانبوبة نقول حيث أن الانبوبة والحوض عبارة عن انائين مستطرقين ببعضهما فلا تنتظم الموازنة الا اذا كان الضغط واحدا على جميع نقط الطبقة الافقية كما مرّ وبناء على ذلك يكون المؤثر على السطح الخالص لزيبق الحوض هو الضغط الجوى والمؤثر على نفس استوائه داخل الانبوبة هو الضغط المنسوب لعمود الزيبق وحده الذى بقى فيها متعلقا حيث أن الفراغ متكوّن فى ا أعلى من الزيبق وحينئذ فالضغط الباطنى والظاهرى متساويان حيث توجد الموازنة ويستنتج من ذلك أن ضغط الجوّ مساو للضغط الحاصل بعمود من الزيبق ارتفاعه

٧٦ر٠ م لكن ان زاد ثقل الجوّ أو نقص ارتفع عمود الزيبق اب او نقص حالا بالتبعية له

(المبحث الثاني في تجربة بسكال)

تجربة بسكال لما أراد بسكال يحقق أن القوّة التي أمسكت الزيبق في أنبوبة تروشيلي هي ضغط الجو فعل التجربتين الاثنتين الاولى انه لما رأى انخفاض عمود الزيبق في الانبوبة بمجرّد الصعود في الجوّ بسبب نقص الضغط ترجى أحد أقاربه القاطن في أوبرني أن يعيد تجربة تروشيلي على جبل بوى دودوم بفرانسا فلما أعاد التجربة نقص عمود الزيبق ٠٨ر٠ م تقريبا وهذا يثبت أن ثقل الجوّ هو الذي أمسك الزيبق في الانبوبة حيث أنه متى نقص هذا الثقل ينقص تبعا له عمود الزيبق

الثانية أن بسكال أعاد تجربة تروشيلي في روين سنة ١٦٤٦ بسائل آخر خلاف الزيبق بان أخذ أنبوبة طولها ١٥ مترا مسدودة أحد الطرفين وملأها بالنبيذ الاحمر وقلبها راسيا في حوض ملآن بهذا السائل فشاهد حينئذ أن السائل وقف في الانبوبة في ارتفاع ٤ر١٠ م تقريبا أعني أكبر من ارتفاع الزيبق ٦ر١٣ مرة وحيث أن النبيذ اقل كثافة من الزيبق ٦ر١٣ مرة فثقل عمود النبيذ مساو لثقل عمود الزيبق في تجربة تروشيلي وحينئذ فالذي أمسك السائلين على التوالي قوّة واحدة وهي ضغط الجو

(المبحث الثالث في تقدير ضغط الجو بالكيلوجرام)

على مقتضى الارتفاع الذي يقف لحدّه الزيبق في حالة الموازنة في أنبوبة تروشيلي يمكن أن يقدّر بسهولة بالكيلوجرام ضغط الجو على سطح محدود ولاجل ذلك نعتبر أن قسم الانبوبة الباطني يكون بالضبط سنتيمترا واحدا مربعا فيكون حينئذ عمود الزيبق الذي في الانبوبة شكل اسطوانة قاعدتها سنتيمتر واحد مربع وارتفاعها ٧٦ر٠ م ويصير حجمها ٧٦ر٠ م مكعبا لانه معلوم أن مساحة الاسطوانة نتيجة ضرب قاعدتها في ارتفاعها وحيث أن السنتيمترالمكعب من الماء يزن جراما واحدا فيلزم أن السنتيمتر المكعب من الزيبق يزن ٦ر١٣ جراما لان الزيبق أثقل من الماء ٦ر١٣ مرة فينتج من ذلك أن ثقل عمود الزيبق في الانبوبة يساوي ٦ر١٣ جراما مضروبا في ٧٦ أعني ١٠٣٣ جراما أي كيلوجراما واحدا وثلاثة وثلاثين جراما ويكون ضغط الجوّ حينئذ على ديسيمتر واحد مربع المشتمل على ١٠٠ سنتيمتر مربع ١٠٣ كيلوجرام و ٣٠٠ جرام

جرام وعلى المتر المربع المشتمل على ١٠٠ ديسيمتر مربع يساوى ١٠٣٣٠ كيلوجرام

وحيث أن مجموع السطح الانسانى عند الشخص ذى القامة والغلاظ المعتادين متر مربع ونصف فيكون الضغط المتوسط الذى يتحمله الانسان على سطح الارض ١٥٠٠٠ كيلو جراما ويظهر أن هذا الضغط العظيم يلزم أن يخلط أجزاء الانسان ببعضها لكن جسمه يقاوم هذا الضغط بتأثير اسوائل المرنة المحتوى عليها ولم يحصل لاعضائه منه أدنى تعب فى حركتها الان الضغط الجوى حيث أنه حاصل فى جميع الجهات يحدث عليه من كل جهة ضغوطا متساوية ومتضادة ومتوازنة صالحة لانتصابه اكثر من اتعابه

وفى الواقع أن فى الايام التى يكون فيها الضغط الجوى كثير الضعف يكابد الانسان تعبا يجعله يقول ان الهواء ثقيل وهذا خلاف ما يلزم أن يقوله

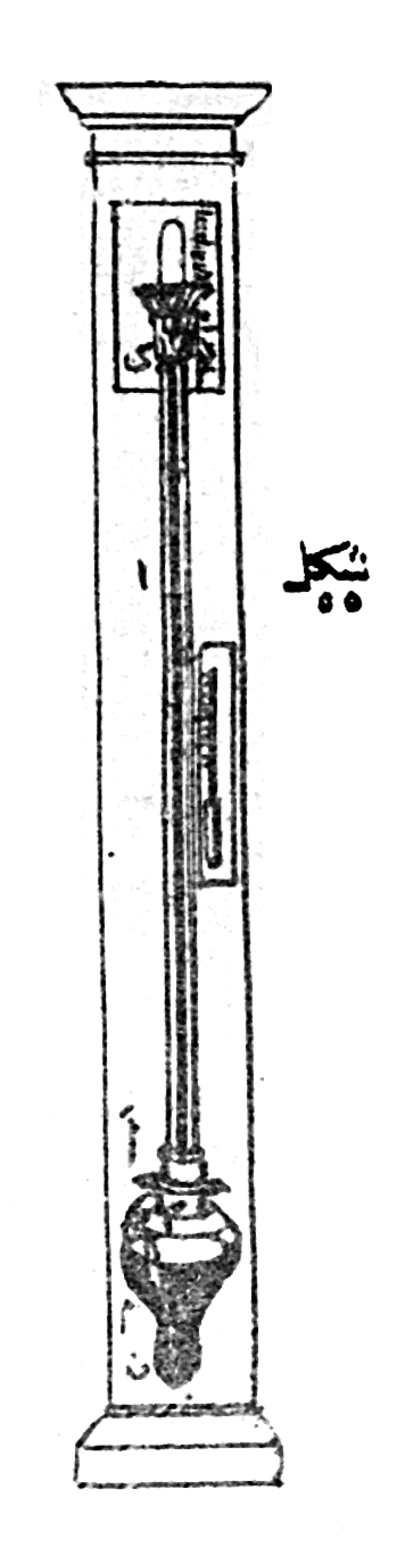
(المبحث الرابع فى أنواع البارومترالمختلفة)

البارومتر آلة مخصوصة لقياس ضغط الجو وفى البارومترات المعتادة التى سنذكرها هنا يقاس هذا الضغط بارتفاع عمود الزيبق فى الانبوبة الزجاج كما فى تجربة تروشيلى وتنقسم البارومترات المعتادة الى ذى الطست وذى الممص وذى وجه الساعة وتصنع أيضا بارومترات بدون زيبق سنذكر منها واحدا وهو البارومتر المعدنى كما سيأتى

(المبحث الخامس فى البارومتر ذى الطست)

يتركب البارومتر ذو الطست من أنبوبة زجاج مسدودة من قمتها طولها ٠٫٨٥ م تقريبا تملأ بالزيبق وتغمر فى طست ملآن بالزيبق كالجهاز المسمى بأنبوبة تروشيلى شكل ٥٤ ولاجل صيرورة البارومتر سهل الحمل من محل الى آخر وصيرورة تغيرات الاستواء فى الطست قليلة الاحساس عند ارتفاع الزيبق وانخفاضه فى الانبوبة نوعوا شكل الطست تنويعا كثيرا وشكل ٥٥

يوضع بار ومترا من هـذا الجنس يمكن نقله بسهولة من محل الى آخر



فالطست قسمان غير متساويين م ن أكبرهما ملتصق مع الانبوبة بواسطة الراتنج وليس متصلا مع الهواء الجوى الا بواسطة فتحة صغيرة مغطاة بقرص من الجلد آ تشاهد مبينة على الجدار العلوى من الطست قريبا من الانبوبة وأصغرهما ملآن بالزئبق وليس ملآن من القسم الاكبر الاجزأ قليلا وهذان القسمان منضمان بواسطة اختناق صغير فيه يدخل الطرف السفلى للانبوبة البارومترية ا وهولا يسد الاختناق الجامع للقسمين بل يترك بينه وبين جدران فتحة الاختناق مسافة صغيرة جدا لكى لا تسمح شعريتها الزئبق القسم الصغير بالصعود اذا امال البارومترأ وقلب وبناء على ذلك فلا يدخل الهواء فى الانبوبة من طرفها المسحوب المغمور فى الزئبق مهما كان وضع البارومتر

وجميع الجهاز مثبت على لوح من خشب التنوب يحمل فى جزئه العلوى مسطرة مدرجة ميليمترات وهذا التدريج مبتدأ من استواء الزئبق فى الطست أعنى أن صفره من استواء زئبق الطست

وبالجملة فالجسم الحلقى ى الذى يمكنه الانزلاق بطول الانبوبة يرفعه المجرب الى أن يتقابل طرفه العلوى مع المينيسك المحدب للزئبق ويقرأ حينئذ على المسطرة ارتفاع عمود الزئبق

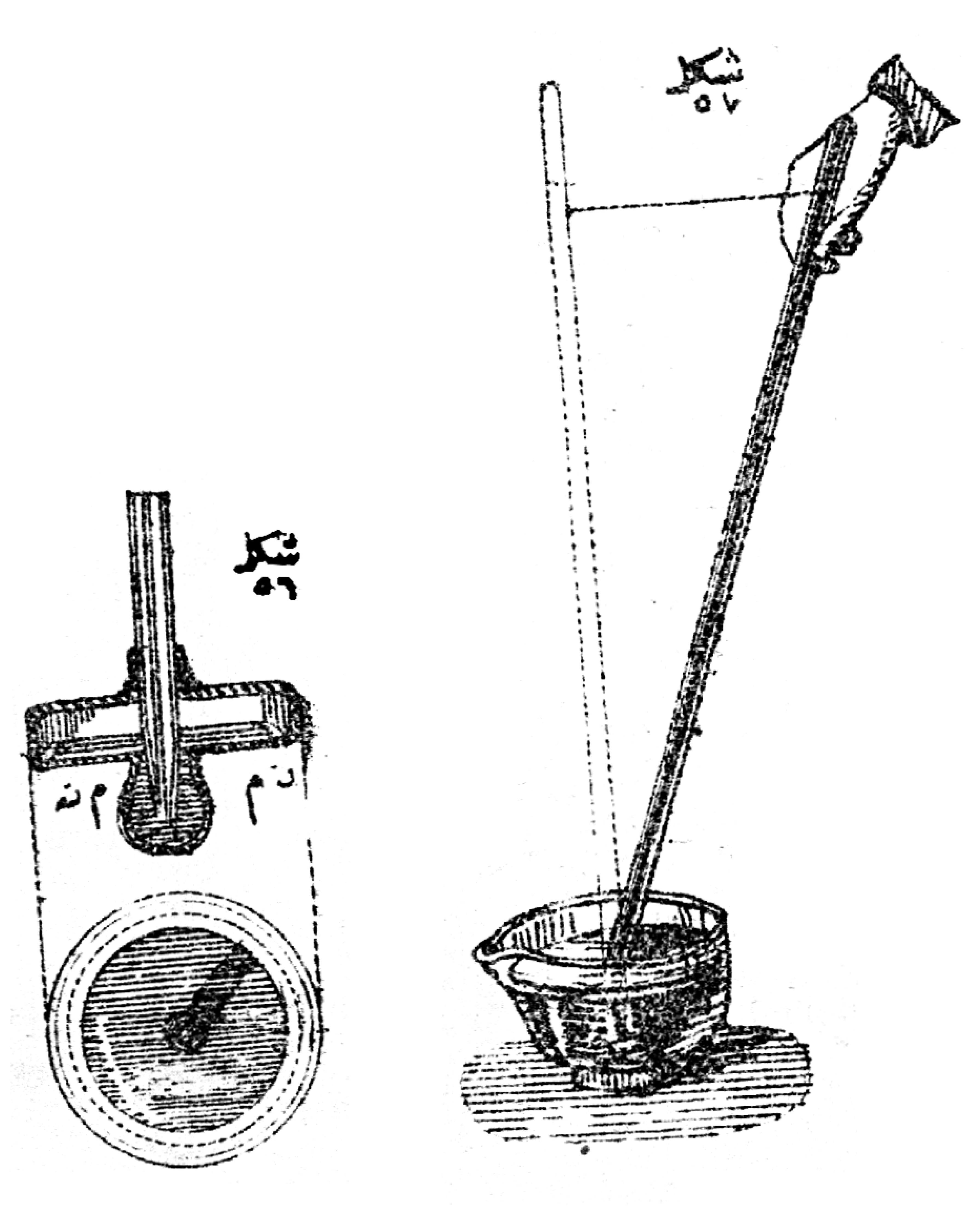
وهذا البارومتر مثل جميع بارومترات هذا الجنس يبين ضغطا قليلا بسبب أن صفر المسطرة لا يطابق بدون تغير استواء الزئبق فى الطست وفى الواقع حيث أن ضغط الجو ليس ثابتا فاستواء الزئبق يتغير دائما كلما زاد ضغط الجو أونقص لان كمية من الزئبق تمر حينئذ من الطست فى الانبوبة أو من الانبوبة فى الطست وينتج من ذلك ان

ان صفر المسطرة يكون فى أغلب الاحوال أعلى أو أسفل استواء الزئبق فى الطست وأن الارتفاع المشاهد يكون بالتبعية صغيرا أو كبيرا و يلطف هذا السبب الغلط باستعمال طست ذى سطح عظيم محتو على قليل من الزئبق كما فى شكل ٥٦

خصوصا اذا لم ينبسط الزئبق على جميع قاع الطست ن ن بل على الجزء المركزى فقط وفى الواقع اذا نقص الضغط فمر ور الزئبق من الانبوبة فى الطست لا ينبسط الا من م الى ن نهايته و يحفظ نفس الاستواء

و يكون كذلك أيضا اذا مرّت كمية زئبق قليلة من الطست فى الانبوبة وعلى كل فلا يكون هذا حقيقيا الا فى البارومترات الآتى ذكرها التى بها تحصل القياسات بالضبط

ومهما كان البارومتر المستعمل نعتبر دائما أن الارتفاع هو المسافة الرأسية من استواء الزئبق فى الطست الى استوائه فى الانبوبة ولهذا يلزم أن يكون وضع البارومتر عند المشاهدة رأسيا بالكلية والاستطال عمود الزئبق عند ما تكون الانبوبة مائلة كما فى شكل ٥٧



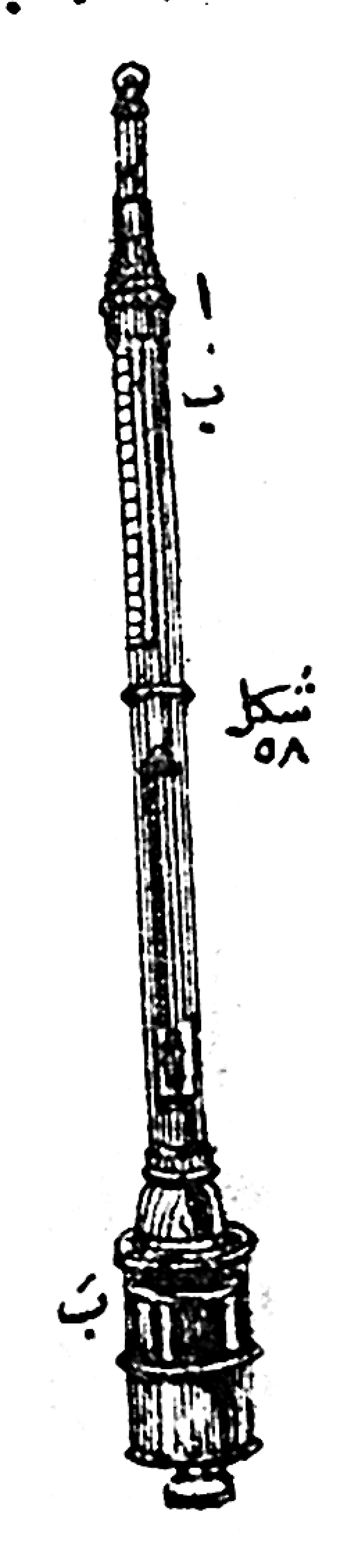
وكان العدد الذى يقرأ على المسطرة كثيرا

وحيث أن الضغط الذى يحدثه الزئبق بثقله على قاعدة الانبوبة غير متعلق بشكل الانبوبة ولا بقطرها كما تقدم فى عدم تعلق الضغط بشكل الاوانى لانها ليست شعرية فيكون ارتفاع البارومتر غير متعلق بقطر الانبوبة ولا بشكلها مستقيما كان أو منحنيا الاان يكون هذا الارتفاع على حسب عكس كثافة السوائل و يكون الارتفاع المتوسط للبارومتر الزئبقى فى استواء البحار ٠٫٧٦ م وفى البارومتر المائى ١٠٫٣٣ م

(المبحث السادس فى بارومتر فورتين)

بارومتر فورتين المسمى هكذا باسم مخترعه هو البارومتر ذو الطست لكن يختلف طسته عن طست البارومتر المتقدم بكون قاعه من جلد الاريل و يرفع و يخفض بواسطة برمة ضغط موضوعة أسفله و بهذه الكيفية تحصل فايدتان الاولى الحصول على استواء ثابت فى الطست الثانية صيرورة الآلة سهلة الحمل من محل الى آخر وفى الواقع لاجل حملها فى السفر يكفى رفع جلد الاريل الى أن يملأ الزيبق بصعوده الانبوبة والطست بالكلية وحينئذ يمكن ميل البارومتر بل وتدويره بدون أن يخشى دخول الهواء فيه أو كسر الانبوبة من صدمة الزيبق وشكل ٥٨

يوضح ترتيب هذا البارومتر الذى أنبوبته منحصرة فى غلاف من نحاس معد لوقايتها مشقوق من جزئه العلوى شقين بالطول متقابلين بهما يشاهد استواء الزيبق ب وعلى الغلاف مسطرة مدرجة مليمترات وكذا قرص ا الذى بتحريكه الى أعلى أو أسفل بالديدل بواسطة الورنيه على ارتفاع البارومتر لغاية ١/١٠ من مليمتر تقريبا ومثبت فى الجزء السفلى من الغلاف طست ب المحتوى على الزيبق ومن المهم أن تكون الانبوبة البارومترية مدة المشاهدة رأسية بالكلية



شكل ٥٨

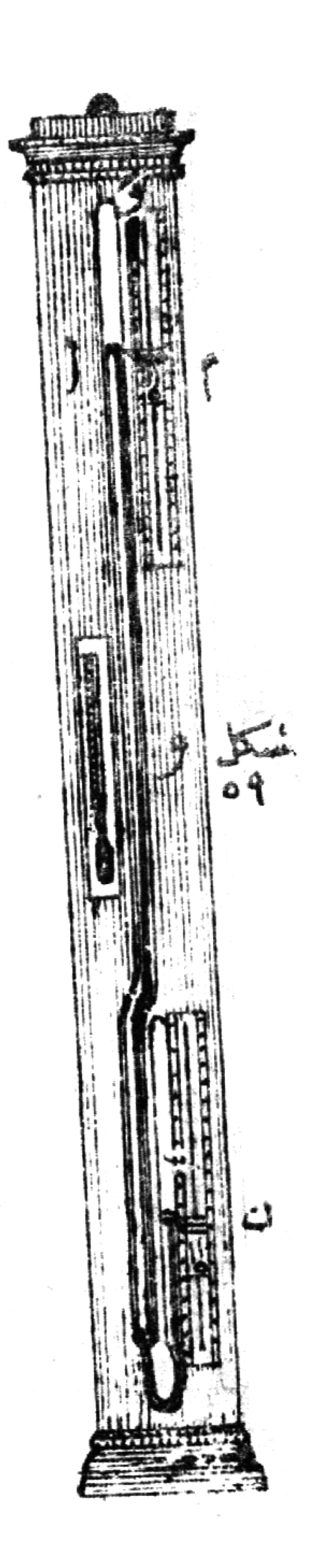
*(المبحث

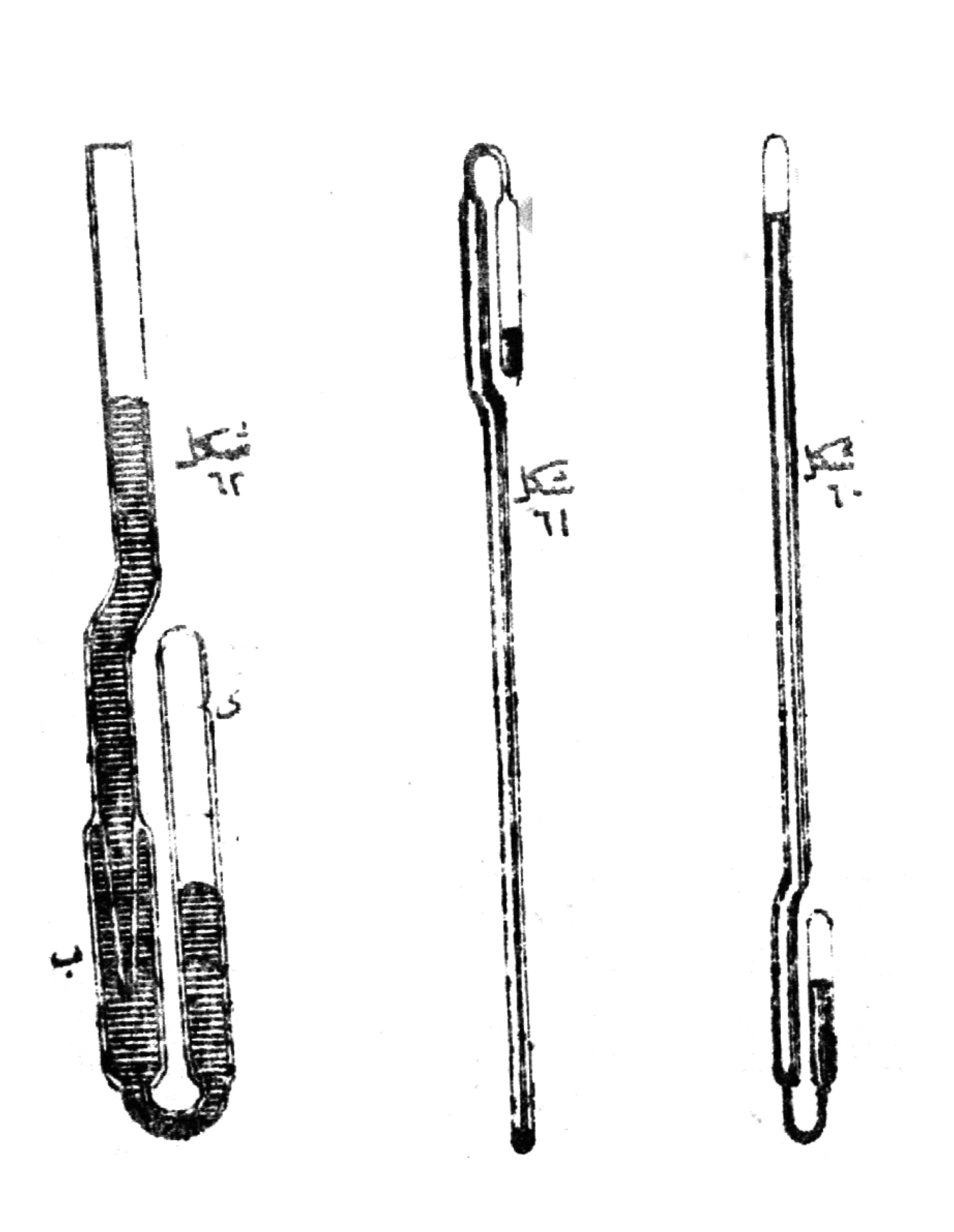
(المبحث السابع فى البارومترذى الممص المنسوب الى غيلوساك)

البارومترذو الممص يتركب من أنبوبة من زجاج منحنية الى شعبتين غير متساويتين أكبرهما المسدودة من قمتها تملأ بالزيبق كما فى البارومترذى الطست وأصغرهما المفتوحة تقوم مقام الطست وفرق الاستواء فى الشعبتين هو ارتفاع البارومتر وشكل ٥٩

يوضح البارومترذا الممص الذى نوعه المعلم غيلوساك وهو أنه لاجل سهولة حمل هذه الآلة فى السفربدون أن يدخل فيها الهواء ضم الشعبتين بانبوبة شعرية كما فى شكل ٦٠ فاذا قلبت الآلة بقيت هذه الانبوبة ملآنة بالزيبق بالنظر لشعريتها ولا يمكن أن ينفذ الهواء فى الشعبة الطويلة كما فى شكل ٦١

ومع ذلك يمكن بواسطة صدمة سريعة تجزى الزيبق الذى فى الانبوبة الشعرية ومرور الهواء فى الشعبة الطويلة ولاجل تدارك هذا الخلل صنع المعلم بونتن التنويع الآتى فى شكل ٦٢





الذى تكون فيه الانبوبة الشعرية عوضا عن أن تلحم فى الشعبة الطويلة تلحم فى أنبوبة ب التى قطرها عظيم وفيها تدخل هذه الشعبة مسحوبة الطرف وبهذا الوضع اذا نفذت كرات من الهواء فى الانبوبة الشعرية فلا يمكنها أن تنفذ فى الطرف المسحوب للشعبة بل تأتى فى الجزء العلوى الغليظ وتمكث فيه كما يظهر من الشكل ومكثها فى هذا المحل لا يضر باستعمال الآلة لان الفراغ موجود دائما فى قمة البار ومتر وفى بار ومتر غيلوساك تكون الشعبة القصيرة مسدودة من طرفها العلوى وليس لها الا فتحة جانبية ى بها يحصل تأثير الضغط الجوى

وأما قياس الارتفاع فيؤخذ بواسطة تدريجين صغرهما العام ى و جهة وسط الشعبة الطويلة كما فى شكل ٥٩ المتقدم وهما متضادا الاتجاه أحدهما الى أعلى من و الى وَ والآخر الى أسفل من و الى ب على مسطرتين من نحاس موازيتين للانبوبة البار ومترية وقرصا من ذاتا لورنيه يمكنهما الانزلاق على المسطرتين بحيث يبينان عليهما عدد المليمترات وأعشار المليمتر الكائنة من و الى ا ومن و الى ب وبجمع العددين المتحصلين حينئذ يتحصل الارتفاع الكلى ا ب

(المبحث الثامن فى شروط يجب أن يستوفاها البار ومتر)

يجب فى عمل البار ومتر أن يختار الزيبق ويفضل على جميع السوائل الاخر أولا لانه بسبب كثافته عنها يأخذ ارتفاعا أقل ثانيا لأنه أقل تصاعدا منها ثالثا لأنه لا يبل الزجاج

ومن المهم أن يكون الزيبق نقيا بالكلية خاليا عن الاوكسيد والا التصق بالزجاج وصيره كابيا وزيادة على ذلك تتغير كثافته ان كان غير نقى ويكون ارتفاع البار ومتر كثير الزيادة أو النقص

ويلزم فى كل بار ومتر أن تكون المسافة الفارغة المسماة بالخزنة البار ومترية أو فراغ تر وشيلى التى توجد فى قمة الانبوبة خالية بالكلية عن الهواء وبخار الماء والا خفض هذان السيالان بالنظر لقوة مرونتهما عمود الزيبق ولاجل الحصول على هذه النتيجة يلزم أن يصب أولا فى الانبوبة جزء من الزيبق المعد لملئها ويسخن الى ان يغلى ويترك بعد ذلك حتى يبرد ثم يصب فيها مقدار جديد من الزيبق ويغلى بالكيفية المذكورة وهكذا الى أن تمتلئ الانبوبة وبهذه الكيفية ينجذب مع بخار الزيبق جميع الهواء والرطوبة الملتصقة بجدران الانبوبة

ويعرف

ويعرف أن البارومتر خال بالكلية من الهواء والرطوبة متى أميل بلطف وسمع له صوت ناشف ناشئ عن قرع الزيبق قمة الانبوبة فان وجد هواء أو رطوبة فى الانبوبة كان الصوت ضعيفا

(المبحث التاسع فى تعديل درجة الحرارة)

يلزم فى جميع المشاهدات المفعولة بالبارومتر ذى الطست أو الممص ملاحظة درجة الحرارة وفى الواقع أنه بتمدد الزيبق أو انقباضه بسبب تغير درجة الحرارة تتغير كثافته ويتغير بالتبعية لذلك ارتفاعه حيث ان هذا الارتفاع يكون على حسب عكس كثافة السائل المنحصر فى الانبوبة وعلى ذلك يمكن حصول ارتفاعات متساوية فى البارومتر فى الضغوط الجوية المختلفة فمن المهم حينئذ فى كل مشاهدة ترجيع الارتفاع الى الارتفاع الذى يحصل فى درجة حرارة محدودة ثابتة وهذه الدرجة اختيارية وقد اختيرت درجة الجليد الذائب وسنشاهد فى دراسة الحرارة كيفية فعل هذا التعديل بالحساب ولاجل معرفة درجة حرارة الزيبق فى البارومتر يوضع ترمومتر قريبا من الانبوبة البارومترية

ويمكن أيضا بحساب بسيط جدا ترجيع ارتفاع البارومتر الى ارتفاعه فى الصفر بواسطة جدول التعديل الذى عمل لذلك وهذا الجدول يوجد بقاعة المشاهدات

(المبحث العاشر فى تغير الارتفاع البارومترى)

متى شوهد البارومتر جملة أيام عرف أن ارتفاعه يتغير فى كل محل وليس من يوم الى آخر فقط بل فى نفس اليوم الواحد أيضا

والفرق المتوسط بين أعظمها ارتفاعا وأقلها ارتفاعا ليس واحدا فى جميع المحلات فيزيد من خط الاستواء الى القطبين وأعظم تغير خلاف الاحوال النادرة يكون ستة مليمتر تحت خط الاستواء و ٣٠ تحت مدار السرطان و ٤٥ فى فرانسا وفى العرض المتوسط و ٦٠ فى درجة ٢٥ من القطب والحاصل أن أعظم تغير يحصل يكون فى فصل الشتاء

ويسمى ارتفاعا متوسطا يوميا العدد الذى يتحصل من جمع ٢٤ مشاهدة متوالية للبارومتر ساعة بعد ساعة وقسمة المجموع على ٢٤ والارتفاع المتوسط الشهرى يتحصل بجمع الارتفاعات المتوسطة اليومية مدة شهر وقسمتها على ٣٠ والارتفاع المتوسط السنوى يتحصل بجمع الارتفاعات المتوسطة لكل يوم مدة سنة وقسمة المجموع على

٣٦٥ وتحت خط الاستواء يكون المتوسط السنوى فى مستوى البحار ٧٥٨ر٠ من المتر ويزداد بالذهاب من خط الاستواء وتصل نهايته فيما بين عرضى ٣٠ و ٤٠ درجة الى ٧٦٣ر٠ من المتر وينقص فى العروض الاكثر ارتفاعا ولا يكون فى باريس الا ٧٥٦٨ر٠ م

ويكون المتوسط العام فى مستوى البحار ٧٦١ر٠ م والمتوسط الشهرى يكون أعظم فى الشتاء منه فى الصيف وهذا ناشئ عن برودة الجو

ويعترى البارومتر نوعان من التغيرات الاول التغيرات العارضية التى لا يظهر أدنى انتظام فى سيرها وهى تتعلق بالفصول وباتجاه الرياح وبالوضع الجغرافى وهى التى تشاهد بالخصوص فى أقاليم فرانسا

الثانى التغيرات اليومية التى تحدث بالدور أى بانتظام فى بعض ساعات من النهار ففى خط الاستواء ومدار السرطان لا تظهر التغيرات العارضية لكن تحدث فيهما التغيرات اليومية بانتظام ويمكن استعمال البارومتر فيهما كالساعة فمن الزوال يبتدئ البارومتر فى الانخفاض الى الساعة الرابعة وفى هذه الساعة يصل الى نهاية انخفاضه ثم يصعد ثانيا ويصل الى نهاية ارتفاعه نحو الساعة ١٠ من الليل وأخيرا ينخفض ثانيا ويصل الى نهاية انخفاضه نحو الساعة الرابعة من الصباح ويرتفع ثانيا نحو الساعة عشرة

وفى المناطق المعتدلة توجد أيضا تغيرات يومية لكن يعسر اثباتها فيها عما فى خط الاستواء لانها تختلط بالتغيرات العارضية

والظاهر أن الساعات التى تحصل فيها نهاية زيادة أو نقص التغيرات اليومية واحدة فى جميع الاقطار مهما كان العرض وتختلف قليلا مع اختلاف الفصول فقط

(المبحث الحادى عشر فى أسباب التغيرات البارومترية)

من المشاهد أن سير البارومتر يكون فى اتجاه مضاد لسير الترمومتر أعنى أن بارتفاع الحرارة ينخفض البارومتر وهذا يدل على أن التغيرات البارومترية فى محل معين تنشأ عن تمدد أو انقباض الهواء فى هذا المحل وبالتبعية من تغير كثافته فاذا كانت حرارة الهواء ثابتة ومنتظمة فى جميع اتساع الجو فلا يحدث فى جهة منه أدنى جريان ويصير الضغط الجوى فى الارتفاعات المتساوية واحدا لكن متى سخنت جهة من الجو أكثر من الجهات المجاورة لها تمدد الهواء وارتفع بالنظر لخفته النوعية وجرى فى الجهات العليا

من

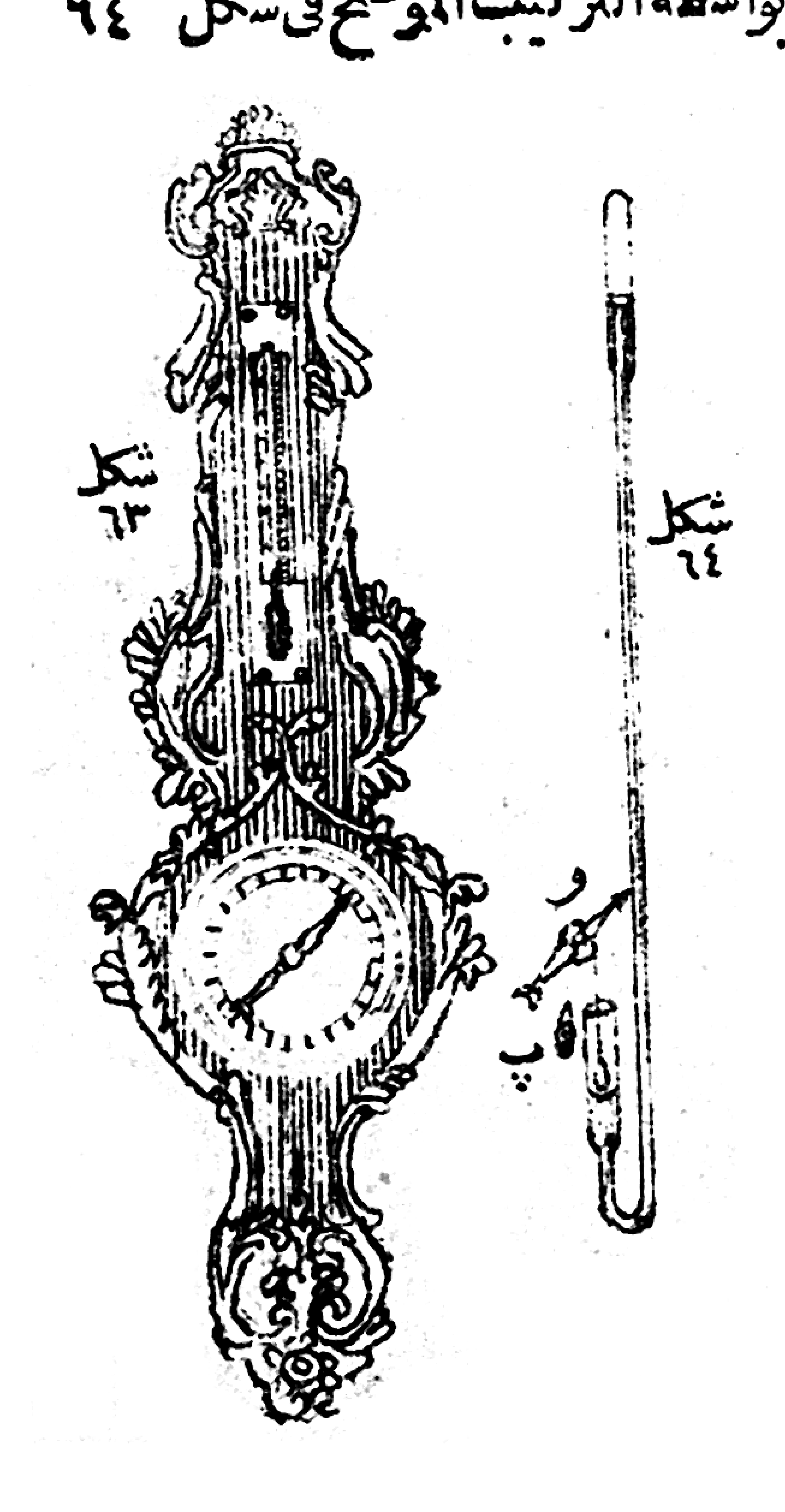
من الجوّ وينتج من ذلك نقص الضغط وانخفاض البارومتر وفى حال زيادة الضغط وارتفاع البارومتر يكون فيه انتقال كتلة الهواء المعوّضة للهواء المتمدّد ولذا أنّ الانخفاض الزائد الحدّ الذى يحصل عادة على نقطة من الكرة يكون مستعوضا بارتفاع مشابه له على نقطة أخرى

وتغيرات الحرارة لا تؤثر وحدها على ارتفاع البارومتر وسنشاهد فى دراسة الحوادث الجوّية أنّ من جملة أسباب التغيرات البارومترية يلزم عدّ اتجاه الرياح وشدتها والظاهر أن التغيرات اليومية ناتجة عن التمدد والانقباض الذى يحدث بانتظام فى الجوّ بتأثير حرارة الشمس مدة دوران الارض

(المبحث الثانى عشر فى البارومتر ذى وجه الساعة)

البارومتر ذو وجه الساعة ينسب الى هوك وهو البارومتر ذو الممص المعد لبيان حالة الجوّ صحوا كان أو متغيرا وسمى بوجه الساعة لانه يتصل بمينة ساعة يتحرك عليها عقرب طويل كما فى شكل ٦٣

بنفس زيبق الآلة بواسطة التركيب الموضح فى شكل ٦٤



وذلك أنه مثبت فى محور العقرب بكرة و ملتف عليها خيط حامل فى أحد طرفيه وزنة ب وفى الطرف الثانى وزنة طافئة أثقل قليلا من الوزنة الاولى ومحمولة على زيبق الشعبة القصيرة للانبوبة البارومترية فاذا زاد الضغط الجوّى انخفض استواء الزيبق فى الشعبة القصيرة ونزلت معه الطافئة وجذبت البكرة والعقرب من اليسار الى اليمين وتحصل حركة عكس ذلك متى نقص الضغط لأن الزيبق يرتفع فى الشعبة القصيرة ويرفع معه الطافئة وينتج من ذلك وقوف العقرب على الكلمات المختلفة الموضوعة على الميناء بدل الدرج مثل مطر صحو وهكذا متى أخذ البارومتر الارتفاعات الموافقة لها بشرط ان تكون الآلة دائما منتظمة

(المبحث الثالث عشر فى قياس الارتفاعات بالبارومتر)

حيث ان ضغط الجوّ يتناقص بمجرّد الوصول الى المحلات الكثيرة الارتفاع ينتج من ذلك أن البارومتر ينخفض كثيرا كلما حمل الى ارتفاع كثير وهذا يسمح لاستعمال هذه الآلة لقياس ارتفاع الجبال فان بقيت كثافة الهواء واحدة فى جميع طبقات الجوّ استخرج بحساب بسيط جدًّا الارتفاع الذى يتوصل اليه من مقدار انخفاض البارومتر وفى الواقع من حيث ان كثافة الهواء أقل من كثافة الزيبق ١٠٤٦٦ مرة فان انخفض البارومتر واحد ميليمتر مثلا دل ذلك على أن عمود الهواء الذى هو موازن للزيبق نقص ١٠٤٦٦ مرة وكسورا أعنى واحد ميليمتر مضروبا فى ١٠٤٦٦ أى ١٠٫٤٦٦ أمتارا وهو مقدار الارتفاع الذى وصل اليه البارومتر فاذا كان انخفاض الزيبق اثنين ميليمترا أو ثلاثة أو اكثر فانه يستنتج من ذلك أن الارتفاع يصير ١٠٫٤٦٦ أمتارا مرتين أو ثلاثة أو اكثر لكن حيث أن كثافة طبقات الهواء تنقص كلما زاد الصعود فى الجوّ فلا يوافق هذا الحساب المتقدّم الا الارتفاعات القليلة

وقد اعطى المعلم لابلاس لقياس ارتفاع الجبال بواسطة البارومتر هذه المعادلة

$$\text{م} = ١٨٣٩٣\ (١ + ٠٫٠٠٢٨٣٧\ \text{جتا}\ ٢\text{ع})\left(١ + \frac{٢(\text{ت} + \text{تَ})}{١٠٠٠}\right)\text{لوغا}\ \frac{\text{شَ}}{\text{ش}}$$

وحرف م فى هذه المعادلة يدل على المسافة الرأسية الكائنة بين المحلين المبحوث عن فرق استوائهما وش تبين ارتفاع البارومتر فى الوضع السفلى وشَ ارتفاعه فى الوضع العلوى و ت و تَ درجتى حرارة الهواء فى كل من المشاهدتين وع هى العرض

وفى

وفى عرض ٤٥ درجة جتا ٢ ع = صفرا وتصير المعادلة م = ١٨٣٩٣ $\left(\text{١} + \frac{\text{٢}(\text{ت}+\text{تَ})}{\text{١٠٠٠}}\right)$ لوغا $\frac{\text{شَ}}{\text{ش}}$ و وضع المعلم بابينى هذه المعادلة الآتية للارتفاع الاقل من ١٠٠٠ متر وهى م = ١٦٠٠٠ متر $\left(\frac{\text{شَ}-\text{ش}}{\text{شَ}+\text{ش}}\right)\left(\text{١} + \frac{\text{٢}(\text{ت}+\text{تَ})}{\text{١٠٠٠}}\right)$ التى لاتحتاج لاستعمال اللوغارتمه وقدصنع المعلم أولتمان جـداول يحسب بها بسهولة اختـلاف الاسـتوائين لموضعين متى عرف ارتفاعا ش و شَ للبارومتر فى الموضـع السـفلى والموضع العلوى وكذا درجتا الحرارة ت وتَ فى نفس الموضعين وتوجد هذه الجداول فى قاعة المتحصلات العملية المتفق عليها

فان كان الارتفاع المراد قياسـه ليس عظيما أمكن قياسه بشخص واحـد لكن ان كان عظيما واستدعى زمنا للصعود فيـه يمكن تغير الضغط الجوّى لزم لقياسـه شخصان وبارومتران جيـدا الاتفاق أحـدهما يقف أسفل الجبل والثانى يصعد على قمته ثم فى ساعة معلومة يشاهـد كل منهما البارومتر بشرط أن يكون اختلاف عمودى الزيبق منسوبا لاختلاف استوائهما

(الفصل الثانى فى قياس قوّة مرونة الغازات وفيه مباحث)

(المبحث الاوّل فى قانون مريوط)

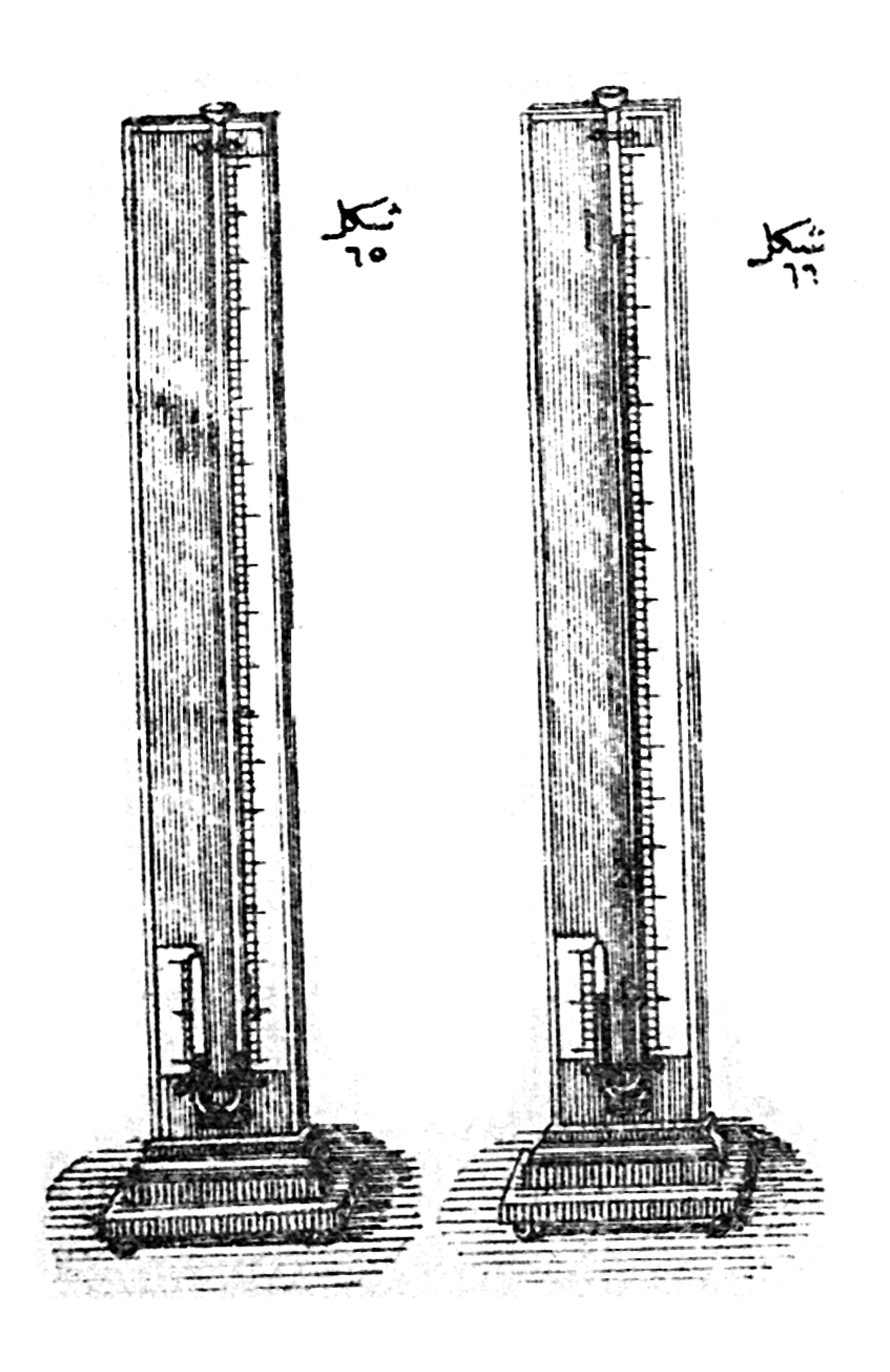
مريوط الطبيعى الفرنساوى هو أول من وضع القانون الآتى على قابلية انضغاط الغازات وهو أن حجم الـكتلة المعلومة من غاز يكون على حسب عكس الضغط الواقع عليها مع بقاء الحرارة فى درجة واحدة

ويتحقق هذا القانون فى الهواء بواسـطة الجهاز الآتى المعروف بانبوبة مريوط وهو أن تثبت رأسـيا عـلى لوح من خشب أنبـوبة من زجاج منحنية كالمص شعبتاهـا غـير متساويتين كما فى شكل ٦٥

وبطول الشعبة القصيرة المغلقة مسطرة مدرجة يدل تدريجها على تساوى السعة بخلاف المسطرة الموضوعة بطول الشعبة الطويلة فان درجاتها تدل على الارتفاعات بالسنتيمتر ويكون صفر المسطرتين على خط أفقى واحد

ولاجل عمل التجربة يصب أوّلا من الزيبق فى الجهاز من قمة الشعبة الطويلة بحيث ينطبق استواء السائل مع الصفر فى الشعبتين كما فى الشكل المذكور

ويحصل هذا بعد فعل بعض تحسيسات بها يخرج قليل من هواء الشعبة القصيرة بحيث يكون الهواء المنحصر فى الشعبة القصيرة معادلا للضغط الجوّى الحاصل على سطح زيبق الشعبة الطويلة والافلا يصير الاستواء واحدا فى الشعبتين ثم يصب من الزيبق فى الشعبة الطويلة الى أن يرجع حجم الهواء المنحصر فى الشعبة القصيرة الى النصف بالضغط الناشئ عن الزيبق أعنى أنّ حجم الهواء الذى كان عشرة يصير خمسة فقط كما يتضح من شكل ٦٦



فاذا قيس حينئذ فرق الاستواء ث ا من الزيبق فى الشعبتين يوجد أنه مساو بالضبط لارتفاع البار ومتر فى الوقت الذى فيه تفعل التجربة وحينئذ فضغط ث ا يساوى ضغط جوّ واحد وباضافة الضغط الجوّى اليه الواقع على ا قمة العمود الزيبقى يشاهد أن فى الوقت الذى فيه نقص حجم الهواء النصف يكون الضغط ضعف الضغط الذى كان أولا وهذا هو الذى يثبت القانون

فاذا كانت الشعبة الطويلة كثيرة الطول بحيث يمكن ان يصب فيهما من الزيبق الى أن يرجع حجم الهواء الكائن فى الشعبة القصيرة الى ثلث حجمه الاصلى يوجد أن فرق الاستواء فى الشعبتين يساوى ارتفاع البار ومتر مرتين أعنى أنه يساوى لضغط جوّين وباضافة الضغط الواقع مباشرة على سطح الزيبق فى الشعبة الطويلة اليه يحصل ضغط قدر ضغط الجوّ ثلاث مرات

وبتأثير هذه الثلاثة ضغوط يصير حجم الهواء أقل بثلاث مرات ويتحقق أيضا قانون مربوط فى الضغط الاقل من ضغط جوّ ولاثبات ذلك تملأ بالزيبق أنبوبة مدرجة من زجاج الى ثلثيها تقريبا ويشغل باقيها بالهواء ثم تقلب وتغمر فى مخبار عميق مملآن بالزيبق كما فى شكل ٦٧

وتنزل الانبوبة بعد ذلك فى المخبار الى أن يصير استواء الزيبق واحدا داخلها وخارجها ثم يقرأ على الانبوبة مقدار حجم الهواء المحتوية هى عليه وبعد ذلك ترفع الانبوبة كما يتضح من الشكل الى أن يصير حجم الهواء ا ث بتناقص الضغط ضعف اب شكل ٦٨

فيوجد حينئذ أن الزيبق ارتفع في الانبوبة وأن ارتفاع ث د الذي وصل اليه هو نصف ارتفاعه في البارومتر مدة التجربة

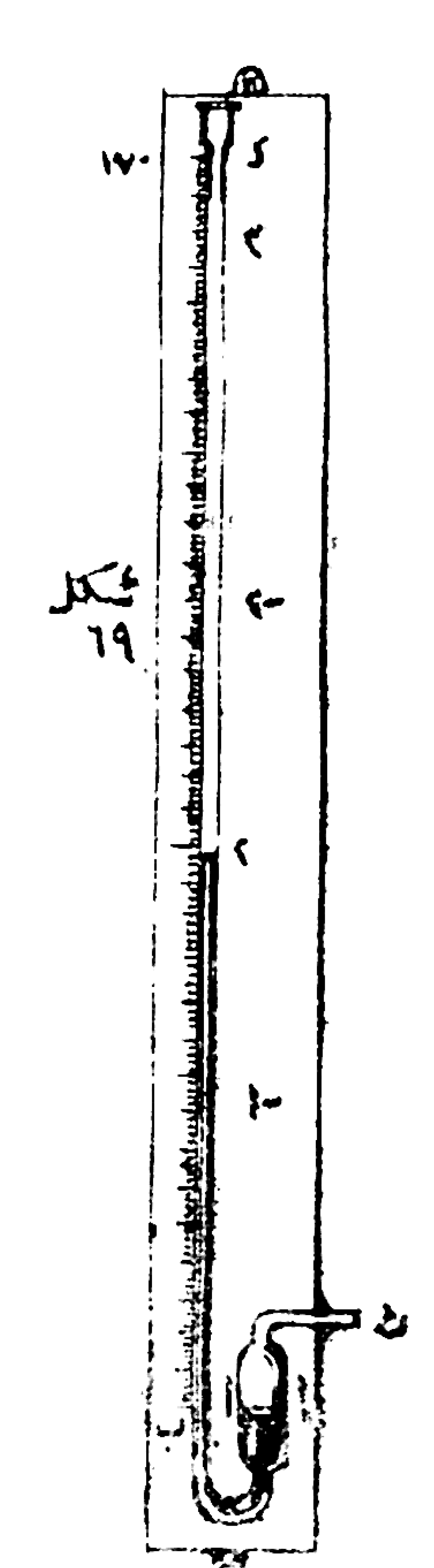
والهواء الذي ازدوج حجمه أي زاد النصف ليس واقعا عليه حينئذ الا نصف ضغط جوّ لان قوة مرونة الهواء المضافة الى ثقل العمود ث د هي التي توازن ضغط الجوّ الظاهري ويكون الحجم حينئذ على حسب عكس الضغط

(المبحث الثاني في المانومترات)

المانومترات آلات معدّة لقياس شدة الغازات والابخرة وتتميز الى مانومتر ذي الهواء الخالص والى مانومتر ذي الهواء المنحصر والى مانومتر معدني

ووحدة القياس المختارة في هذه المانومترات المختلفة هي ضغط الجوّ عندما يكون البارومتر في ٠٫٧٦ م وتقدم أن هذا الضغط على السنتيمتر المربع يساوي ثقل ١٫٠٣٣ كيلوجراما وحينئذ اذا قيل لغازان شدته تعادل جوّين أو ثلاثة فمعنى ذلك أن شدته تعادل ثقل عمود من الزيبق ارتفاعه مرتين أو ثلاثة ٧٦ سنتيمترا أو أنه يحدث على كل سنتيمتر مربع من الجدران المحتوية عليه ضغطا يعادل ثقل ١٫٠٣٣ كيلوجراما مرتين أو ثلاثة

والمانومتر ذو الهواء الخالص يتركب من أنبوبة من بلور ب د شكل ٦٩



شكل ٦٩

منحنية وملحومة من جزئها السفلي بحوض ا من بلور أيضا وملحوم في الجزء العلوي من هذا الحوض أنبوبة ثانية ث متصلة بالاناء المغلق المحتوي على الغاز أو البخار الذي يقصد قياس شدته وحوض ا ملآن بالزيبق والجميع مثبت على لوح من خشب يوضع رأسيا

ولاجل تدريج المانومتر تترك فتحة ث متصلة بالهواء الجوي ثم يكتب في الاستواء الذي يقف فيه الزيبق حينئذ في انبوبة البلور رقم واحد وبالذهاب من هذه النقطة لاعلى الانبوبة تكتب من ٧٦ الى ٧٦ سنتيمترا

أرقام

أرقام ٢ ر٣ ر٤ ر٥ ر٦ التى تدل على تعدد نفس ضغوط الجوّ حيث أن عمود الزيبق الذى هو ٠٫٧٦ م يبين ضغط جوّ واحد ثم أخيرا تقسم المسافات من ١ الى ٢ ومن ٢ الى ٣ وهكذا عشرة أجزاء متساوية تبين لنا أعشار الجوّ

فاذا اتصلت أنبوبة ث بعد ذلك بقزان بخار مثلا صعد الزيبق فى أنبوبة ب ى لارتفاع يدل على شدة البخار

وفى الشكل يبين المانومتر جوّين مبينين بارتفاع ٠٫٧٦ م مرة واحدة زائد الضغط الجوّى الواقع على قمة العمود من فتحة ى

والمانومتر ذو الهواء الخالص لا يستعمل الا للضغط الذى لا يتجاوز ضغط الجوّ خمس مرّات أو ستة

وأما القياس الضغط الاكثر من ذلك فحيث أنه يلزم أن يعطى لانبوبة ب ى طولا تصير به متعبة فى العمل فيستعمل لقياسه المانومتر ذو الهواء المنحصر

المانومتر ذو الهواء المنحصر ذكرنا أن قياس الضغط بالمانومتر ذى الهواء الخالص يكون بارتفاع عمود الزيبق الموازن له وأما فى المانومتر ذى الهواء المنحصر فيقاس الضغط بالنقص الذى يحدث فى كتلة معلومة من الهواء ولاجل ذلك تكون الانبوبة التى لم يكن طولها هنا الا من ٦٠ الى ٨٠ سنتيمترا مغلقة من جزئها العلوى وملآنة بالهواء ومتصلة من جزئها السفلى بحوض ملآن بالزيبق لكن حيث ان الآلة تتحمل ضغطا شديدا فيكون هذا الحوض من الحديد بدل الزجاج وفتحة ا الجانبية شكل ٧٠

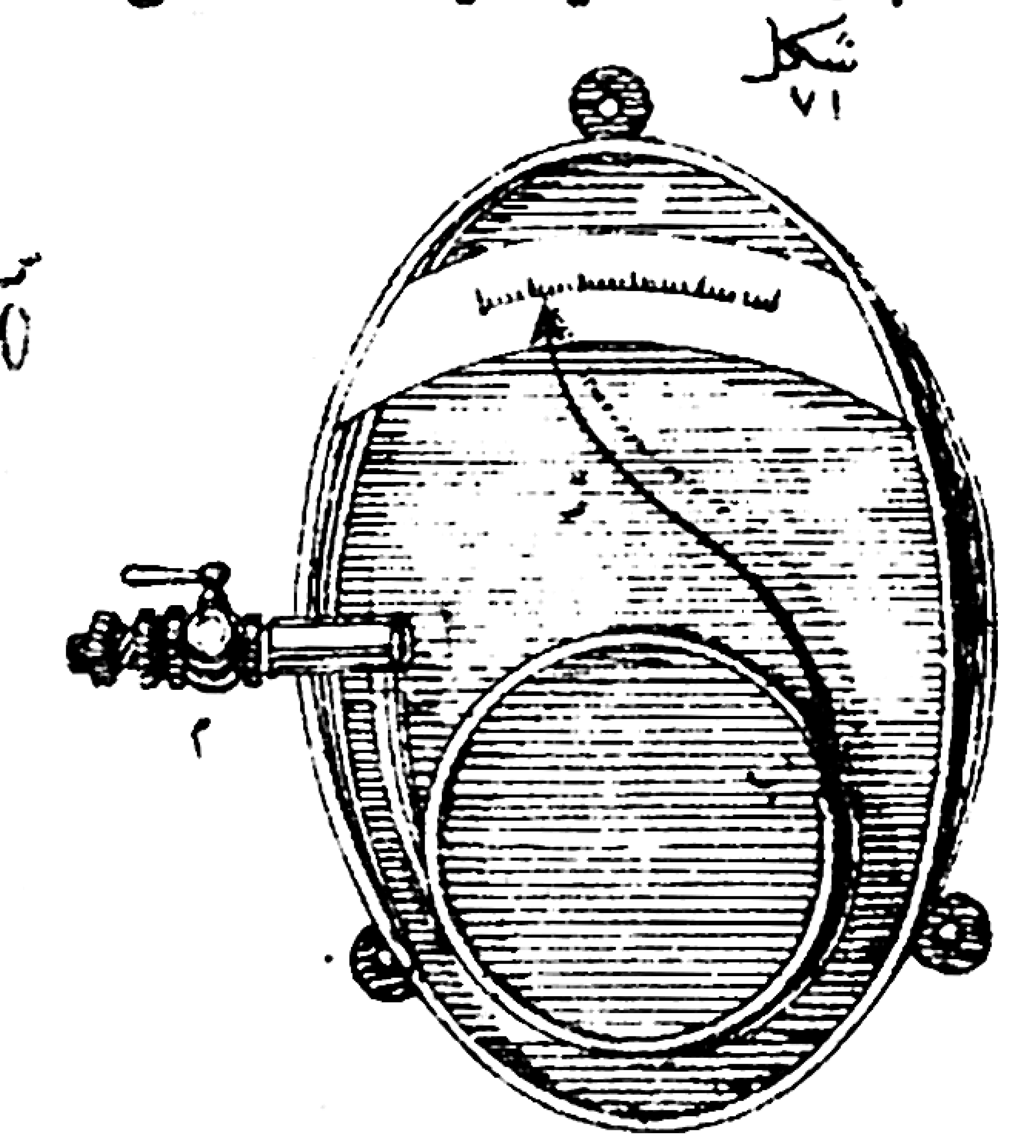
شكل ٧٠

توصل المانومتر بالاناء المحتوى على الغاز أو البخار الذى يقصد تعيين شدته وبالجملة فيوجد فى الجزء العلوى من ا لحوض فتحة تثبت فيها الانبوبة المانومترية تثبيتا متينا بالمصطكى بعد غمرها الى قاع الحوض

وأمّا تدريج هذا المانومتر فيحصل بمقابلة سيره بسير المانومتر ذى الهواء الخالص ولاجل ذلك تنتظم كمية الهواء فى الانبوبة بشرط أن يكون استواء الزيبق فيها وفى الحوض واحدا فى ضغط

جوّ واحد ثم توصل الآلة وكذا المانومتر ذو الهواء الخالص المعدّ للمقابلة فى زمن واحد باناء فيه بضغط الهواء تدريجا بواسطة طلومبة كابسة فيرتفع الزيبق حينئذ فى الآلتين ومتى أظهر المانومتر ذو الهواء الخالص ضغط جوّ واحد أو ٢ أو ٣ وهكذا بالتدريج فتكتب نفس الاعداد من ابتداء استواء الزيبق على مسطرة كائنة بطول الانبوبة المانومترية فتوجد الآلة حينئذ مدرجة

وأمّا المانومتر المعدنى المنسوب الى بوردون فهو خال عن الزيبق ومؤسس على تغير شكل الانابيب بواسطة الضغط وهو أنه متى لفت أنبوبة سلسة الجدران أى لينتها مبططة قليلا على نفسها لفات من جهة قطرها الاصغر فان الضغط الباطنى على الجدران يفرد أى يبسط الانبوبة والضغط الظاهرى بالعكس أعنى أنه يقبضها أى يلفها ويقتضى هذه القاعدة يتركب مانومتر بوردون من أنبوبة من النحاس الاصفر منحنية طولها ٧٠ر٠ م جدرانها رقيقة لينة كما فى شكل ٧١



قطاعها المبين بحرف س على يسار الشكل قطع ناقص وقطرها الاعظم ١١ مليمتر والاصغر ٤ مليمتر وطرفها ا المفتوح مثبت فى فتحة ذات حنفية م معدّة لتوصيل الجهاز بقزان البخار وطرف ب مغلق سائب كباقى الانبوبة فاذا كانت حنفية م مفتوحة فالضغط الذى يحدث تبعا لشدة البخار على باطن جدران الانبوبة يجعلها تنبسط ويجذب طرف ب حينئذ من اليسار الى اليمين ويجذب معه العقرب الطويل و الذى يبين على مينة الساعة شدة البخار مقدرة بضغوط من الجو ويدرّج وجه الساعة من قبل بمقابلته بالمانومتر ذى الهواء الخالص وتسيير الجهاز مع الهواء المنحصر

(المبحث الثالث فى البارومتر المعدنى المنسوب الى بوردون)

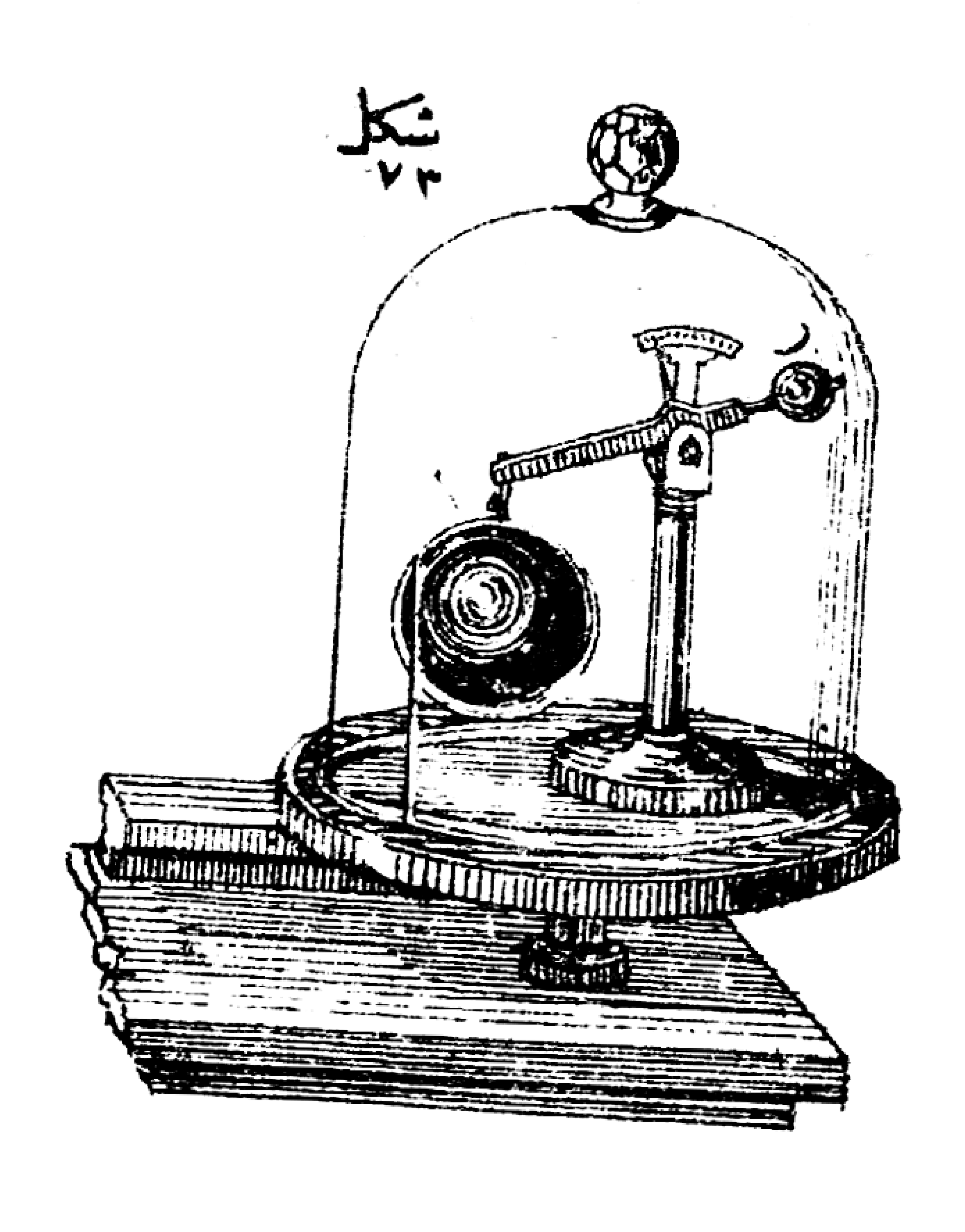
يتركب هذا الجهاز من أنبوبة مشابهة لانبوبة المانومتر المتقدم الا أنها أقصر منها

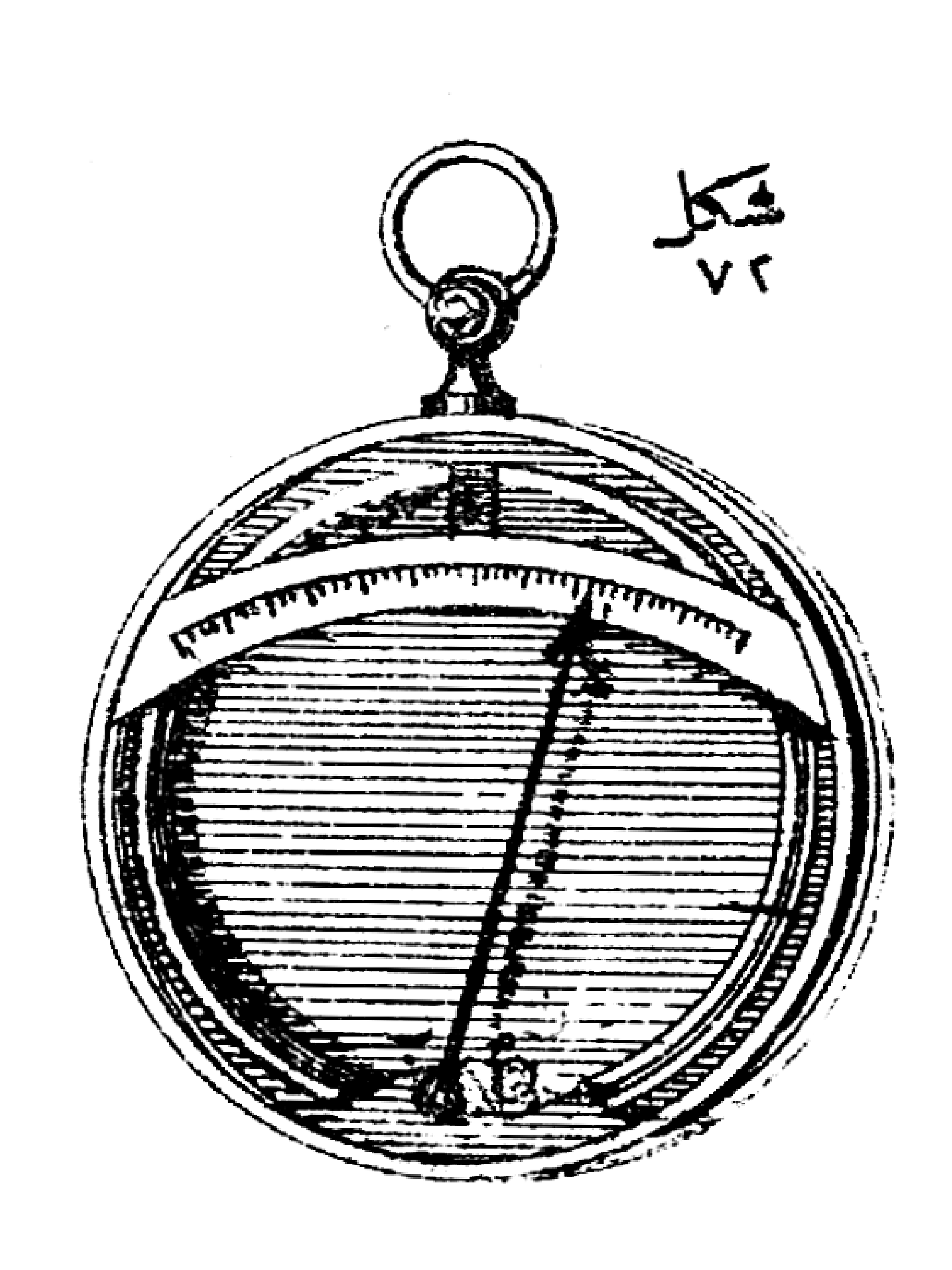
ومسدودة سدًّا محكمًا ومثبتة من وسطها فقط كما فى شكل ٧٢
بشرط أن يفعل فيها الفراغ قبل السد فتى نقص الضغط الجوى انبسطت هذه الانبوبة بمقتضى القاعدة المتقدمة واتصلت الحركة بعد ذلك لعقرب يبين مقدار الضغط على وجه ساعة ويحصل انتقال الحركة بواسطة سلكين صغيرين من معدن ب ا يربطان طرفى الانبوبة برافعة مثبتة فى محور العقرب واذا زاد الضغط انقبضت الانبوبة على نفسها والزنبلك الصغير الملفوف ث هو الذى يحرك العقرب حينئذ من اليسار الى اليمين على وجه الساعة وهذا البارومتر صغير الحجم جدا كثير الاحساس

(الفصل الثالث فى الضغط الواقع على الاجسام المغمورة فى الهواء والقباب الطيارة وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى قاعدة ارشميدس المطبقة على الغازات والباراسكوب)

تقدم فى قاعدة بسكال وأرشميدس المطبقة على الغازات أن الدلالات التى أوصلت لقاعدة أرشميدس على السيالات مطبقة كلمة بكلمة على الغازات وينتج من ذلك أن كل جسم غمر فى الهواء يفقد جزأ من ثقله مساويا لثقل حجمه من الهواء الذى حل محله ذلك الجسم ويثبت ذلك بواسطة الباراسكوب وهو جهاز يتركب من عاتق ميزان حامل فى احد طرفيه كتلة صغيرة من الرصاص ب وفى الطرف الثانى كرة مجوفة من النحاس ا حجمها تقريبا نصف ديسيمتر مكعب كما فى شكل ٧٣


شكل ٧٣


شكل ٧٢

فهذان الجسمان يحدثان الموازنة في الهواء لكن اذا وضع الجهاز تحت ناقوس الآلة المفرغة يشاهد أن العاتق يميل جهة الكرة الغليظة كما يظهر من الشكل المذكور وهذا يدل حقيقة على أنها تزن اكثر من كتلة الرصاص الصغيرة لانهما الآن غير متحملين لادنى ضغط وليستا منقادين الا للقوة التثاقل وحينئذ فقد فقدت الكرة في الهواء جزأ من ثقلها فاذا أريد تحقيق هذا الفقد بواسطة نفس هذا الجهاز بانه مساو لثقل الهواء المزوى يقاس حجم الكرة ولنفرض أنه يساوى نصف ليتر وحيث ان وزن الحجم المماثل له من الهواء هو ٠,٦٥ من جرام فاذا علق في الكتلة الصغيرة ثقل مساو له اختلت حينئذ الموازنة التي كانت حصلت في الهواء لكنها تنتظم في الفراغ

وحيث ان قاعدة أرشميدس حقيقية للاجسام المغمورة في الهواء فيمكن أن يقال هنا جميع ماقيل في الاجسام المغمورة في السوائل أعني أنه متى كان الجسم أثقل من الهواء سقط فيه بسبب زيادة ثقله على قوة دفع السائل المرن واذا كانت كثافته مساوية لكثافة الهواء وازن ثقله قوة دفع الهواء من أسفل الى أعلى وبقي الجسم سابحا في الجو واذا كان الجسم أقل كثافة من الهواء تسلطنت قوة الدفع وصعد الجسم في الجو الى أن يقابل طبقة من الهواء مماثلة له في الكثافة وتكون قوة الصعود حينئذ مساوية لزيادة قوة الدفع على ثقل الجسم وهذا هو سبب صعود الدخان والابخرة والسحب والقباب الطيارة في الجو

(المبحث الثاني في القباب الطيارة)

القباب الطيارة هي كرات من منسوج رفيع يمنع نفوذ الهواء تملأ بهواء مسخن أو بالايدروجين وتصعد في الجو بسبب خفتها النسبية وينسب اختراعها الى يوسف منقولفير صانع الورق بمدينة أونى وأول قبة كانت من القماش مغشاة بالورق وكان محيطها ٣٦ مترا ووزنها ٢٠٠ كيلوجراما مفتوحة من جزئها السفلي وكانت تملأ بالهواء المسخن بحرق الورق أو الصوف أو القش المبلول بالماء في ظرف كائن تحتها وجميع جنس هذه القباب يسمى منقولفير

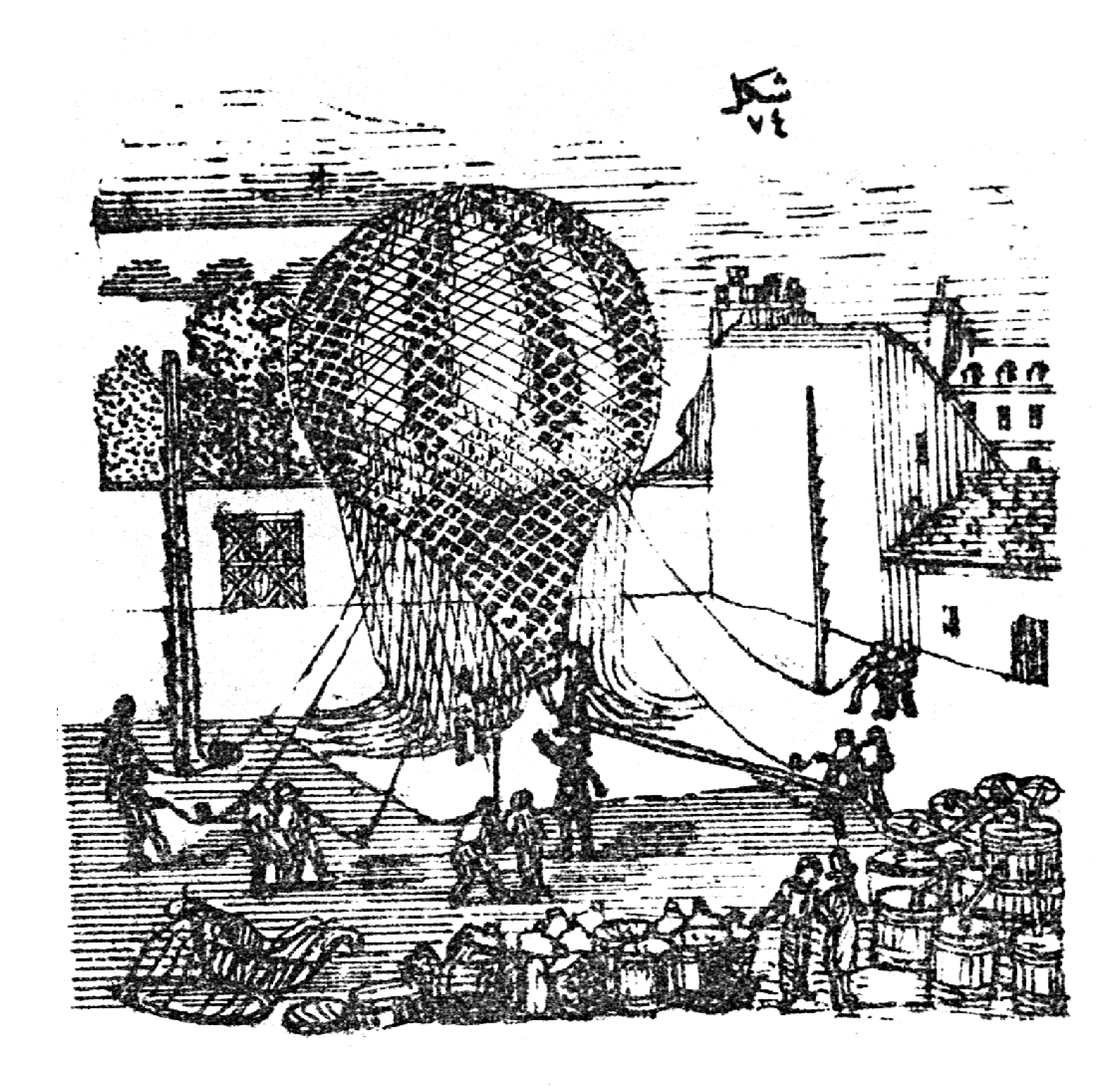
واول من تجاسر على الصعود في القباب التي تصعد بالهواء المسخن وخاطر بنفسه المعلم پيلاتر الذي هو من قرية روزيير وهو أول مسافر الهواء وبعده بزمن قليل استعوض الطبيعي شارل الهواء المسخن بغاز الايدروجين بعد تجربة أولية فعلها ونجحت معه وصعد هو وصاحبه روبير في قبة ملأها بهذا الغاز

وأشهر الصعودات التي فعلت صعود المعلم غيلوساك سنة ١٨٠٤ بالنظر للفوائد العلمية والارتفاع الذي وصل اليه وقتئذ بلغ ٧٠١٦ مترا أعلى من استوا البحار وفي صعوده هذا انخفض البارومتر الى ٣٢ سنتيمترا والترمومترا المائيني الذي كانت درجته ٣١+ على سطح الارض صارت ٥ر٩ — وكانت درجة الجفاف في تلك الجهات المرتفعة كدرجة الجفاف في شهر بؤنة الذي فيه تجف وتنكمش الاجسام الايجرومترية كالورق ورق الغزال كما اذا عرضت للحرارة وازدادت حركة التنفس ودورة الدم بسبب شدة تخلخل الهواء وأثبت المعلم غيلوساك أن نبضه اذذاك كان يفعل ١٢٠ دقة بدلا عن ٦٦ وشاهد أن السماء اكتسبت لونا أزرق قاتما جدا مائلا الى السواد وهدوا عظيما حوالى القبة

وأعجب صعود كان في لوندره سنة ١٨٦٢ صعده المعلمان ككوكسيل وجليزير ففي ارتفاع ٩٢٠٠ مترا صار الهواء متخلخلا والبرد شديدا حتى أن المعلم جليزير بالخصوص وقع في الضعف ولم يمكنه أن يمسك نفسه ولا ذراعيه ولا رأسه ولا يميز آلاته وفقد التكلم وأما المعلم كوكسيل الذي كان ذا قوة عظيمة فانه أمكنه مشاهدة البارومتر والترمومتر ولما وصلت القبة لارتفاع ١٠٤٦٠ مترا نزل الترمومتر الى ٢٧ درجة —

تركيب وملء وصعود القبة يتكون غلاف القبة من قطع تفتا تخاط مع بعضها وتطلى بورنيش الصمغ المرن الذي يسد أعين النسيج فلا ينفذ منه الغاز وفي قمة القبة صمام ينغلق بواسطة زنبلك وينفتح الى الداخل على حسب الارادة بواسطة حبل

ويعلق أسفل القبة زورق خفيف من خشب الصفصاف أو خلافه يمكن جلوس جملة أشخاص فيه ويكون محوكا بشبكة من حبال مغلفة للقبة كما في شكل ٧٤



والقبة المعتادة التى يمكنها حمل ثلاثة أشخاص بسهولة يكون ارتفاعها خمسة عشر مترا تقريبا وقطرها احد عشر مترا واذا انتفخت بالكلية كان حجمها قريبا من ٧٠٠ متر مكعب ويزن غلافها ١٠٠ كيلوجرام وتزن الزوائد كالحبال والزورق ٥٠ كيلوجراما

وتملأ القبة اما بغاز الايدروجين النقى أو بالايدروجين المكربن المستعمل للاستصباح فهو وان كان أثقل من الايدروجين استعمل الآن لانه يتحصل بسهولة وأوفر من الايدروجين النقى وفى الواقع يكفى توصيله من معمل الغاز الى القبة بواسطة موصل من قماش مصمغ وشكل ٧٤ المذكور يبين قبة تملأ بالايدروجين النقى وعلى يمين الشكل المذكور جملة براميل فيها الاجسام اللازمة لتحضير الايدروجين وهى برادة الحديد والماء وحمض الكبريتيك ويأتى الغاز من جميع البراميل تحت برميل مركزى مفتوح من أسفل ومغمور فى حوض ملآن بالماء وبعد غسل الغاز فى هذا الماء يصل الى القبة بواسطة أنبوبة طويلة من القماش المصمغ مثبتة من أحد

طرفيها

طرفيها في البرميل المركزي وفي القبة بالطرف الثاني ولاجل سهولة دخول الغاز في القبة ينصب قائمتان من الخشب على قمة كل منهما بكرة يلف عليها حبل يمر في حلقة مثبتة في دائر الصمام وبهذه الكيفية ترفع القبة ابتداء عن الارض مقدار متر تقريبا ثم يوصل لها الغاز وكلما امتلأ منها جزء ترفع لاعلى شيئا فشيئا مع الانتباه لفردها وهكذا الى أن تمتلئ لكن يلزم حينئذ مقاومة قوة صعودها بان تمسكها أشخاص بواسطة حبال مثبتة في الشبكة وحينئذ تزال الانبوبة المستعملة لتوصيل الغاز ويربط الزورق بالحبال ثم يجلس المسافر في الزورق وتخلى الحبال فتصعد القبة بسرعة عظيمة كلما كانت خفيفة بالنسبة للهواء الذي تحل محله

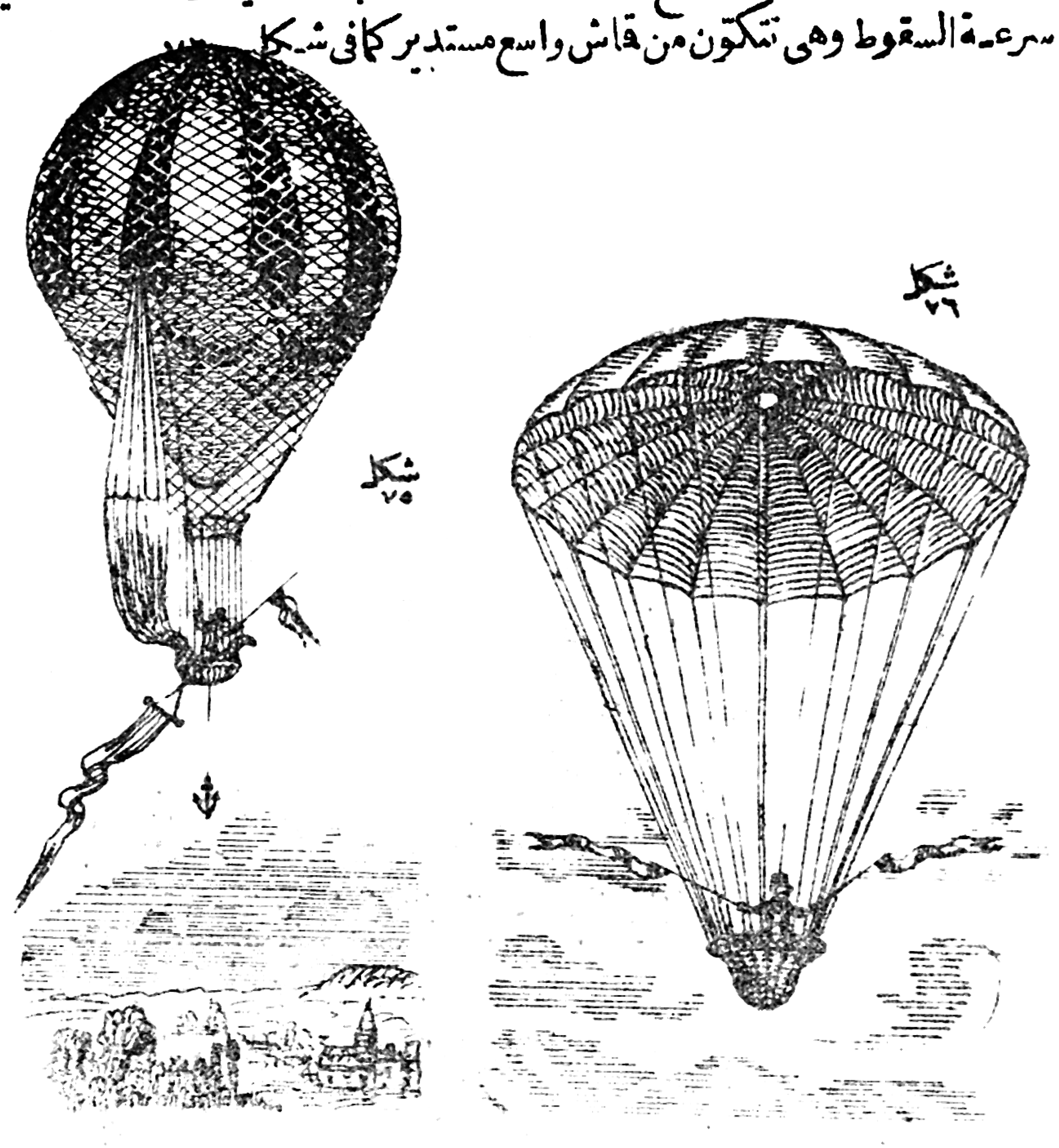
ومن المهم عدم ملء القبة بالكلية لانه بتناقص الضغط الجوي بمجرد الارتفاع يتمدد الغاز الذي في القبة بالنظر لقوة مرونته فيمزقها

ويكفي أن تكون قوة الصعود أعني زيادة ثقل الهواء المزوي على الثقل الكلي للجهاز من ٤ الى ٥ كيلوجرام وتبقى هذه القوة ثابتة مادامت القبة لاتنتفخ بالكلية بتمدد الغاز الباطني وفي الواقع اذا نقص الضغط الجوي مرتين مثلا ازدوج حجم غاز القبة بمقتضى قاعدة مريوط وينتج من ذلك أن حجم الهواء المزوي يصير أكبر بمرتين ويتبع ذلك نقص كثافته مرتين وحينئذ فلا يتغير ثقله ولا قوة الدفع من أسفل الى أعلى لكن متى انتفخت القبة بالكلية وهي مستمرة على الارتفاع نقصت قوة الصعود لان حجم الهواء المزوي باق بذاته وانما نقصت كثافته ويأتي حينئذ زمن فيه تكون قوة الدفع مساوية لثقل القبة وبناء على ذلك فلا تتبع القبة حينئذ الا الاتجاه الافقي على حسب اتجاه تيار الهواء المتسلطن في الجو

ويعرف مسافر الهواء الصعود والهبوط بواسطة انخفاض عمود زيبق البارومتر في الحالة الاولى وارتفاعه في الحالة الثانية وكذا بواسطة الوضع الذي تأخذه الراية الطويلة المثبتة في الزورق أسفل أو أعلى الزورق كما في شكل ٧٥

ومتى أراد المسافر النزول جذب الحبل الذى يفتح الصمام الكائن فى الجزء العلوى من القبة فيختلط الايدروجين حينئذ بالهواء الخارجى فتنزل القبة ولاجل تأخير النزول ان كان سريعا أولاجل الصعود ثانيا ان كان النزول فى محل خطر يفرغ المسافر الاكياس القماش الملآنة بالرمل التى كان أخذ منها كمية كافية وحينئذ تخف القبة وترتفع ثانيا لتنزل بعد ذلك فى المحل الموافق

مانعة السقوط فائدتها أن تسمح لمسافر الهواء فى ترك القبة وتعطيه الواسطة فى تأخير سرعة السقوط وهى تتكون من قماش واسع مستدير كما فى شكل ٧٦



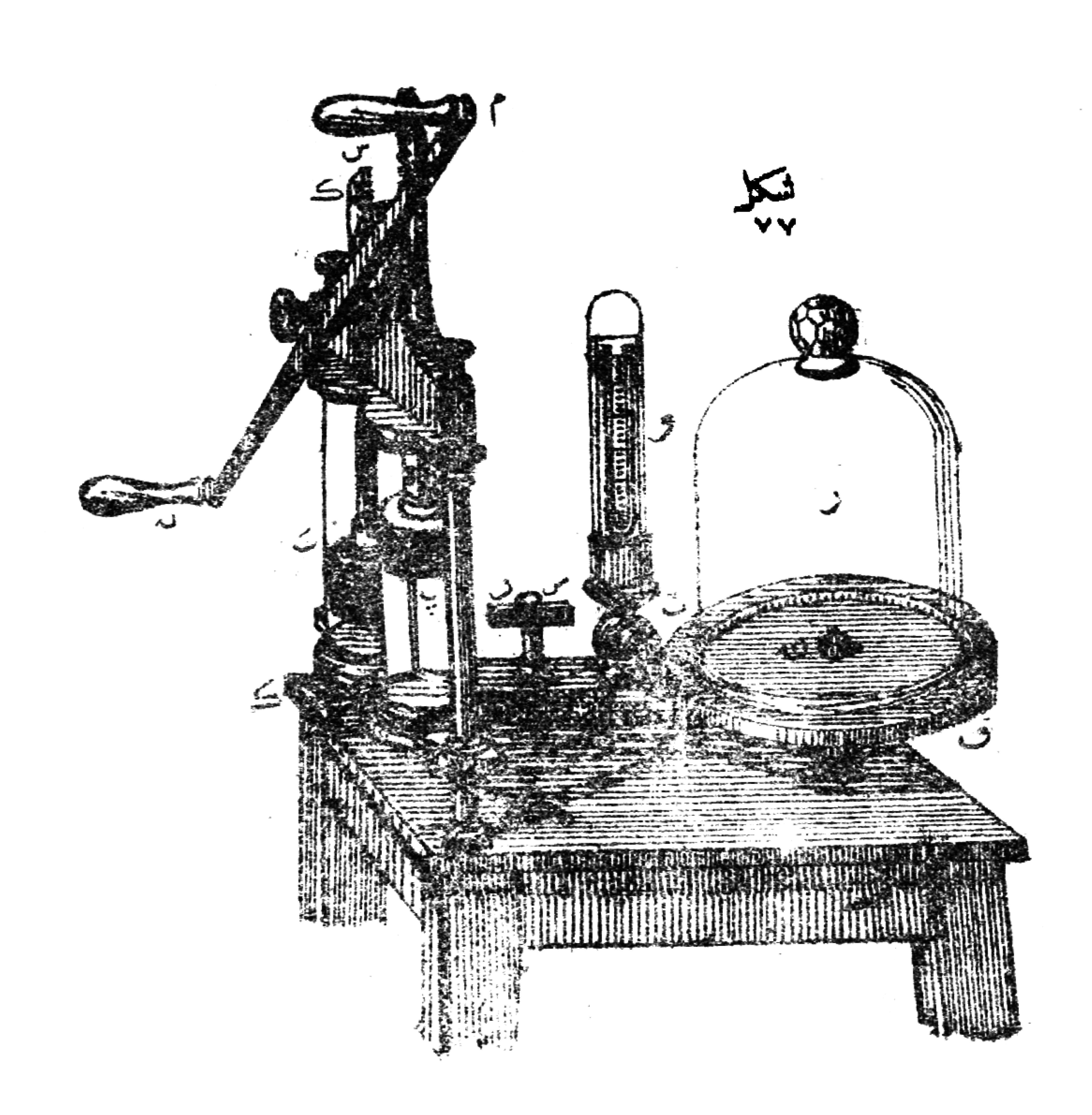
قطرها خمسة أمتار تقريبا تنبسط على شكل مظلة بواسطة مقاومة الهواء لها فلا تسقط الا ببطء ومثبت فى جوانبها احبال ماسكة الزورق الجالس فيه المسافر وفى وسطها فتحة يصعد منها الهواء المنضغط بتأثير النزول وبدون هذه الفتحة تحدث اهتزازات تصل الى الزورق

الزورق يمكن أن يحصل منها ضرر وفى شكل ٧٥ يشاهد على جانب القبة مانعة سقوط مطوية ومربوطة فى الشبكة بواسطة حبل مار على بكرة ومثبت فى الزورق ويكفى تخلية هذا الحبل لكى تترك مانعة السقوط القبة

(المبحث الثالث فى الآلة المفرغة)

الآلة المفرغة جهاز يستعمل لعمل الفراغ فى مسافة محدودة أو فى الحقيقة لتخلخل الهواء لانه لا يمكنها أن تعطى الفراغ التام

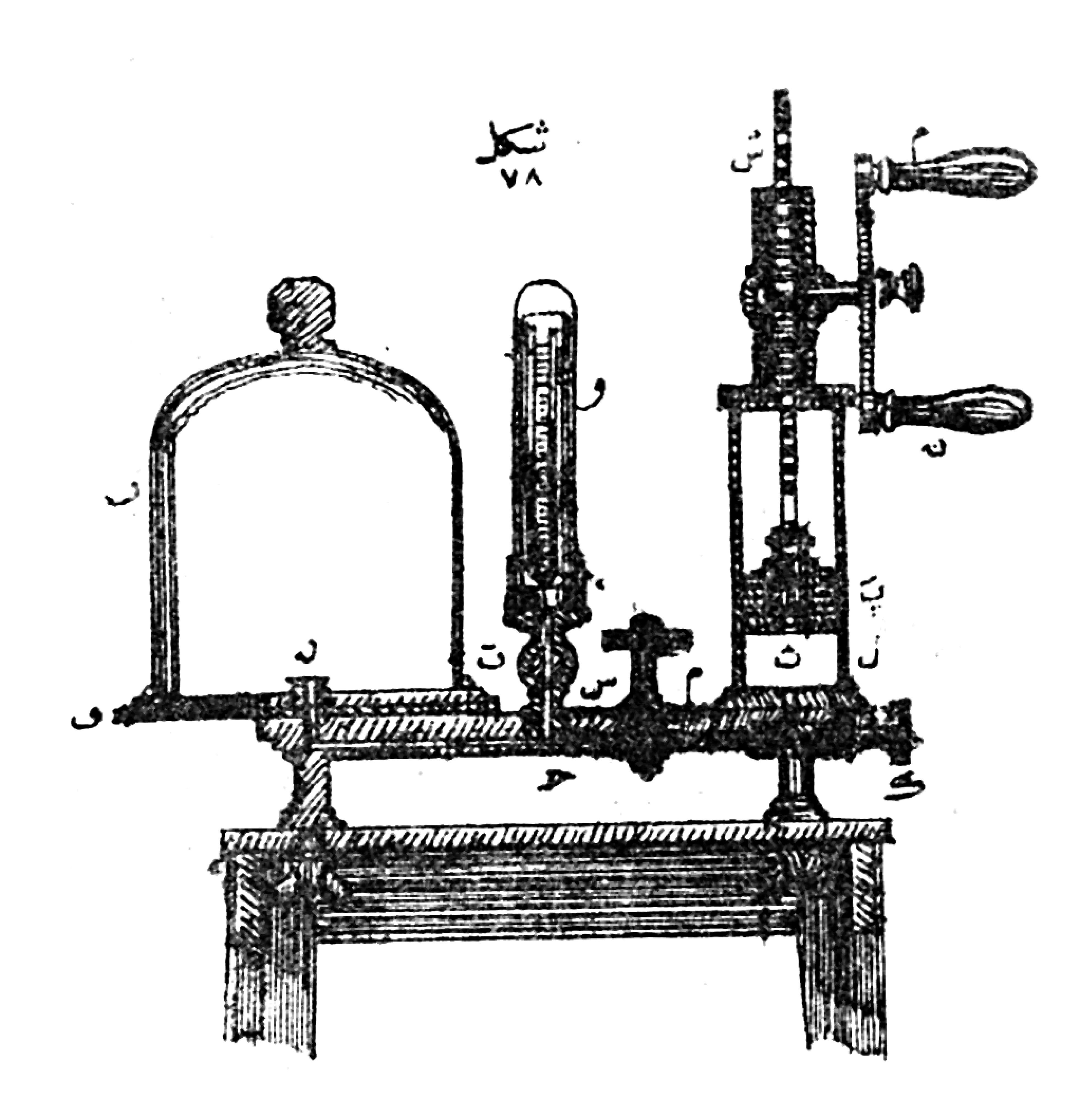
والمخترع لهذه الآلة المعلم اتودوغريك سنة ١٦٥٠ وكانت بجسم طلونبة واحدة والمعلم هافكب الانكليزى هو أول من استعمل جسمى طلونبة وجعل تشغيل الآلة المفرغة حينئذ أسرع وأقل تعبا وشكل ٧٧



يعطى منظور آلة مفرغة ذات جسمى طلونبة تخالف التى شرحناها فى الطبعة السابقة بترتيب الحنفيات وازدواج تفريغ الهواء وشكل ٧٨ الى شكل ٨٤ يبينها

مفصلة ومقطوعة على حسب أسطح مختلفة والقطع نفسها مبينة فى جميع الاشكال بحروف واحدة

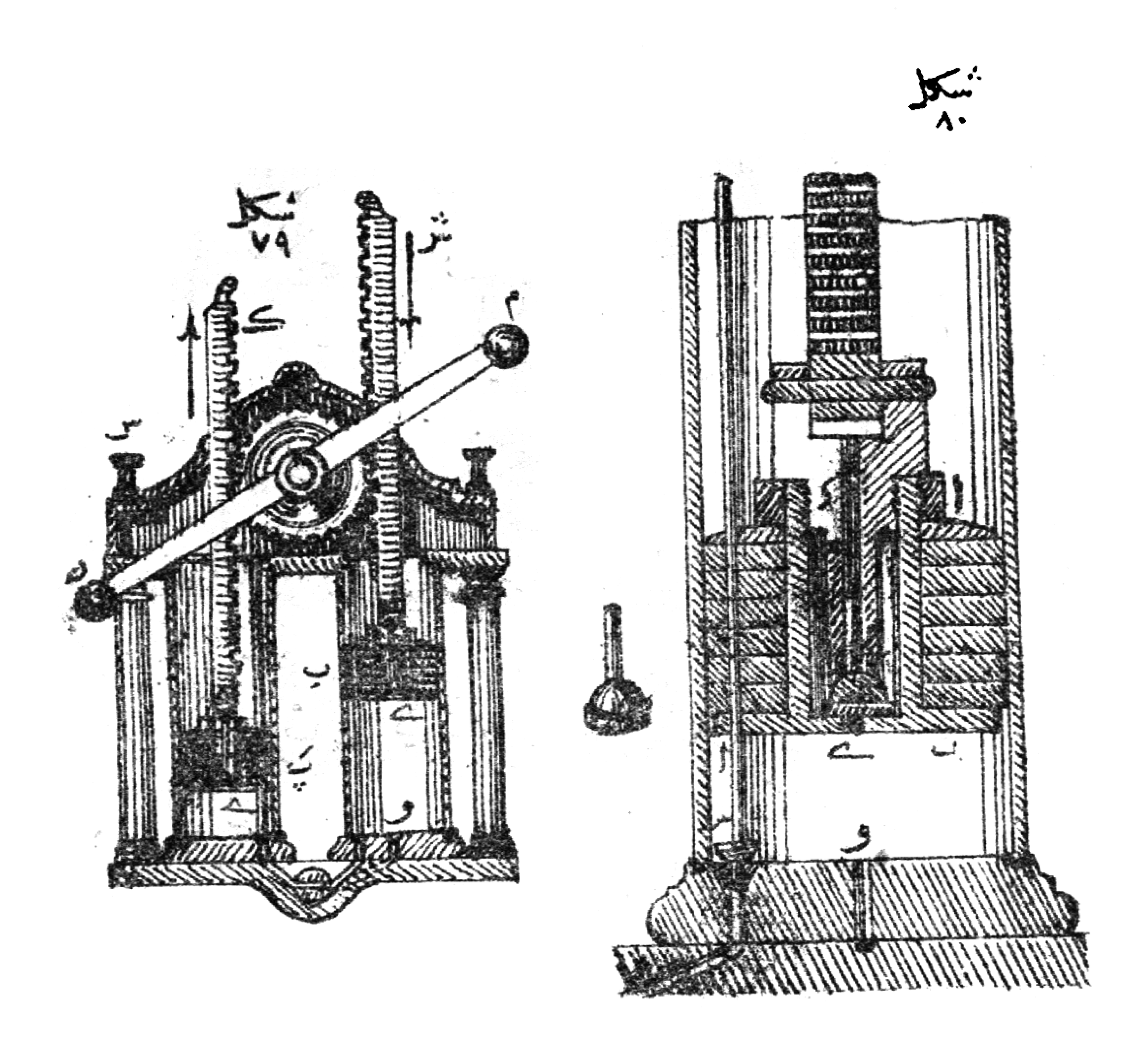
وتتركب الآلة من سطح ثخين من النحاس الاصفر ف ج ل شكل ٧٨



مثبت أفقيا على تختة ومثبت فى أحد طرفيه تثبيتا قويا بالمصطكى اسطوانتان من بلور داخلهما مكبسان من جلد ب بَ وهاتان الاسطوانتان هما جسما الطلونبة وينتهى السطح من طرفه الآخر بلوح ل مثبت عليه بالمصطكى قرص من زجاج غير مصقول وعلى هذا القرص يوضع ناقوس ر المراد عمل الفراغ فيه وفى مركز اللوح فتحة ن ذات ارتفاع به حلزون برمة يوفق عليه على حسب الارادة كرة من زجاج ذات حنفية أو مثانة أو أى اناء آخر يقصد عمل الفراغ فيه ويحصل الاتصال بين الناقوس والطلونبة بواسطة قناة ن ث المصنوعة فى السطح النحاس كما يوضحه شكل ٧٨ المتقدم الذى هو قطاع طولى للآلة وبوصولها الجسمى الطلونبة تتفرع فرعين أحدهما واصل الى ث والآخر الى ء كما سيأتى فى شكل ٨١

وشكل

وشكل ٧٩
الذى بين الآلة مقطوعة رأسيا على حسب محورى الاسطوانتين بين التشغيل الذى به تصل الحركة للمكبسين على التوالى وهذان المكبسان مثبت فيهما قضيبان ذوا أضراس ك ش تتعشق فيها أضراس عجلة صغيرة س و بتحريك هذه العجلة على التوالى فى اتجاه مضادّ بواسطة مقبضى م ن يصعد أحد القضيبين و ينزل الآخر ومعهما المكبسان وشكل ٨٠



يبين أحد المكبسين مقطوعا رأسيا و يتركب من قرصين من النحاس الاصفر ا ب بينهما أقراص من جلد مضغوطة جدّا بالقرصين بواسطة برمة كابسة وقطر الاقراص الجلد أكبر قليلا من قطر قرصى النحاس ومتشربة لزيت أرجل البقر وتنزلق بقوة بين جدران جسم الطلونبة سادّة له بالتحكيم ومثبت فى مركز القرص ا بواسطة برمة قطعة ى المثبت عليها بواسطة مسمار القضيب ذو الاضراس الذى يحرّك المكبس وقطعة ى هذه مثقوبة فى جميع طولها بقناة معدة لمرور الهواء من أسفل جسم الطلونبة لاعلى المكبس ومنه الى الهواء الجوى حيث ان جسم الطلونبة ليس مغلقا من جزئه العلوى

وبالجملة فانه يوجد فى مركز القرص ب ثقب ى مغلقا بصمام ز الذى ينفتح من أسفل الى أعلى ومثبت فى هذا الصمام ساق و الذى يتحرك حركة خالصة فى قناة قطعة ء وفائدة هذا التوضيب منع الصمام من الانقلاب عند رفعه وفى أسفل الصمام قرص من خشب الفلين ينطبق على ثقب ى ويسده

ويوجد خلاف صمام ز الموضوع فى المكبس صمام آخر فى الشكل يغلق فى قاعدة جسم الطلونبة فتحة ث لقناة ث ن الموصلة للناقوس كما فى شكل ٧٨ وهذا الصمام مثبت فى الطرف السفلى للساق الحديد ا كما فى شكل ٨٠ المتقدم الذى يمر بطول المكبس ويمتد الى قمة جسم الطلونبة وهذا الساق ينزلق بقوة فى الاقراص الجلد وينتج من ذلك أنه متى نزل المكبس جذب معه الساق الحديد وغلق صمام س الفتحة واذا ارتفع المكبس رفع معه الساق والصمام لكن ارتفاعا قليلا جدا لانه بسبب طوله يمنعه السطح العلوى لجسم الطلونبة عن الارتفاع وحينئذ ينزلق فى المكبس ويرتفع المكبس وحده

ولاجل تتميم شرح الآلة المفرغة نوضح استعمال الثلاث حنفيات ت س لـ الموضوعة على هذه الآلة كما فى شكلى ٧٧ و٧٨ فحنفية ت تستعمل لتوصيل الناقوس بجهاز و بواسطة مجرى ث ن كما يشاهد فى شكل ٧٨ وأما حنفية س فتستعمل لتنظيم أو قطع الاتصال بين الناقوس وجسمى الطلونبة بواسطة المجرى المذكورة وعند عمل الفراغ يلزم ان تكون حنفية س مفتوحة كما فى شكلى ٧٨ و٨١ وحينئذ ينجذب الهواء من الناقوس لكن متى فعل الفراغ فى الناقوس تغلق حنفية س حيث ان الهواء يميل دائما للدخول فيه بواسطة جسمى الطلونبة وحينئذ فلا يمكن دخول الهواء فى الناقوس الا من بين حافته والسطح المرتكز عليه ولذلك يلزم أن تكون حافة الناقوس متساوية محررة بالضبط لتحصل الملامسة الكلية لكن لا يكفى ذلك بل يلزم أيضا دهن حافة الناقوس بالشحم قبل وضعه على السطح وحنفية س هذه تكون مثقوبة فى اتجاه محورها بقناة تغلق بالتحكيم بواسطة سدادة معدنية ر ففى عمل الفراغ فى الناقوس وأريد ادخال الهواء فيه يكفى رفع السدادة ر

وأما الحنفية الثالثة لـ الموضوعة بين جسمى الطلونبة فهى معدة لما يسمى بازدواج تفريغ الهواء الذى سنشرحه فيما بعد

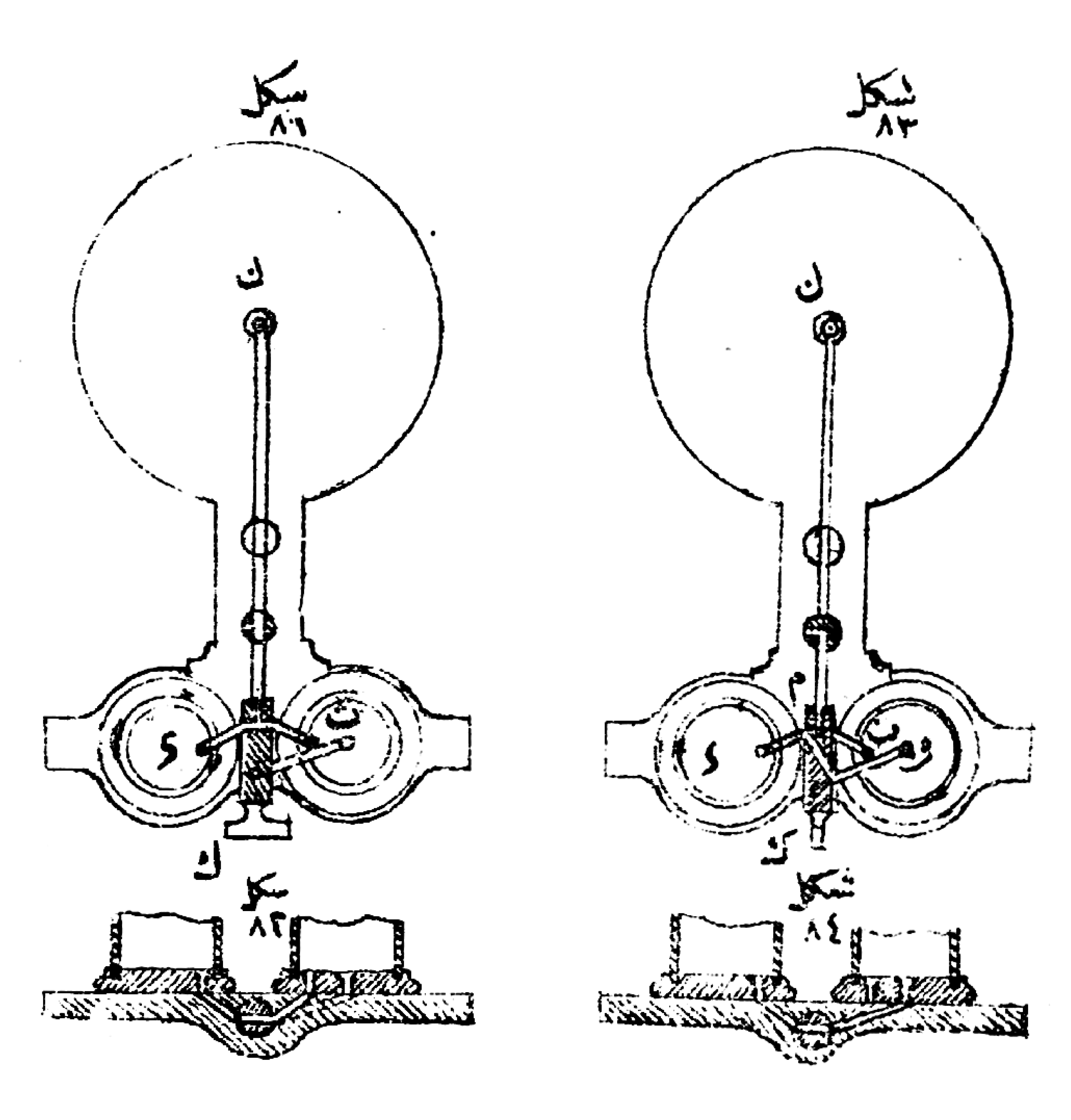
ومتى

ومتى عرفت القطع المختلفة للآلة سهلت كيفية تشغيلها ولكن أولا المكبس ب كما في شكل ٧٩ المذكور في أسفل حركته فعند ابتداء تحرك المقبض يرتفع هذا المكبس جاذبا معه ساق ا وصمام س بخلاف صمام ز فانه يبقى سادا الفتحة ى بثقله الخاص وثقل الهواء الجوى فان بقى صمام س مغلقا مدة صعود المكبس حصل الفراغ أسفل المكبس فقط لكن حيث ان الاتصال بين جسم الطلونبة والناقوس حاصل بواسطة صمام س فانه يرجز من هواء الناقوس في جسم الطلونبة و يملؤه ومتى وصل المكبس لاعلى حركته واذا انخفض المكبس غلق صمام س الفتحة بنزول ساقه ولا يمكن رجوع الهواء الذى تحت المكبس الى الناقوس ثانيا وبانضغاطه شيئا فشيئا بنزول المكبس يكتسب حالا قوة أكثر من الضغط المؤثر على صمام ز فينفتح حينئذ ويتصاعد منه الهواء الذى تحت المكبس في الجو من قناة ء و بصعود المكبس مرة ثانية تتجدد الظواهر بعينها وهكذا على التوالى في جسمى الطلونبة الى أن يصل الى حد يمتنع فيه فتح صمام المكبس ولو كان يصل لاسفل حركته وان كان باقيا في الناقوس هواء أيضا وفي الواقع أنه مهما كان ضبط الآلة المفرغة وتحكيم المكابس فلابد من أن توجد أسفل الصمام وحوالى القرص السفلى للمكبس مسافة فيها كمية قليلة من الهواء ومتى زاد تخلخل الهواء كثيرا فانه بأى زمن فيه ينطبق المكبس على قاع جسم الطلونبة ولا يكتسب الهواء المنحصر في المسافة الكائنة تحت المكبس شدة كافية لرفع الصمام ومن ابتداء هذا الزمن لاتتم الآلة وظيفتها أى يبطل شغلها لكن سنشرح تنظيم حنفية ازدواج التفريغ التى بها تحصل زيادة الفراغ بدون أن تعطى فراغا تاما

والحاصل أن هذا ليس عملا فقط بل نظريا أيضا لان الآلة المفرغة لايمكنها أن تحدث فراغا مطلقا أى تاما لانه اذا كان حجم كل من جسمى الطلونبة ليتراواحدا مثلا وحجم المستودع والقناة ٢٠ ليترا فانه يستخرج في كل دقة $\frac{1}{٢}$ فقط من كتلة الهواء الكائن في المستودع والقناة وحينئذ فلا يمكن اخراج جميع الهواء المحتوى عليه المستودع و يظهر بالحساب أنه يلزم دقات عديدة غير متناهية لاستخراج جميع هواء المستودع

المخبار أو البارومتر الابتر متى اشتغلت الآلة المفرغة زمنا يسيرا فان قوة مرونة الهواء الباقى في المستودع تقاس باختلاف الاستواء الذى يأخذه الزيبق في شعبتى الانبوبة المنحنية على هيئة المص المسدودة أحد الطرفين ومفتوحة الطرف الآخر كما في البارومتر وسميت هذه الآلة الصغيرة مخبارا أو بارومترا ابتر لانها في الحقيقة

بارومتر ذو الممص ارتفاعه أقل من ٧٦ر٠م مثبتة على مسطرة مقسمة ميليمترات وموضوعة تحت المخبار و كما فى شكل ٧٧ المتقدم المتصل بالمستودع بواسطة حنفية ت والشعبة المسدودة والجزء المنحنى من الانبوبة مملوآن بالزيبق من قبل وقبل استفراغ الهواء من المستودع تكون قوة مرونته موازنة لثقل عمود الزيبق الذى فى الشعبة المغلقة فتبقى ملآنة بالزيبق لكن بمجرد تخلخل الهواء بتشغيل المكبسين تنقص قوة مرونة الهواء فلا يمكنه أن يوازن ثقل عمود الزيبق فينخفض الزيبق حينئذ ويميل لاخذ الاستواء فى الشعبتين فاذا حصل الفراغ التام انتظم استواء الزيبق فى الشعبتين بالضبط لانه لا يوجد ضغط فى كل من الشعبتين الا أنه بالآلة الجيدة يبقى الاستواء دائما مرتفعا فى الشعبة المغلقة بمقدار نصف ميليمتر أقل ما يكون وهذا يدل على أن الفراغ غير تام لانه باق أيضا كمية من الهواء توازن شدتها عمودا من الزيبق مقداره نصف ميليمتر ويقال حينئذ فعل الفراغ الى نصف ميليمتر أى الباقى فى المستودع حنفية ازدواج الاستفراغ سمى هكذا حنفية ك الموضوعة بين جسمى الطلونبة كما فى شكل ٧٧ و٧٨ و٨١ الى شكل ٨٤



لان

لان بها يزداد تخلخل الهواء لاعلى درجة وهذه الحنفية موضوعة فى محل تفرع المجرى التى توصل الهواء من المستودع لجسمى الطلونبة ومثقوب فى كتلتها جملة ثقوب تنفع عند تدوير الحنفية فى الوضعين الزاويين

وفى شكل ٨١ الذى يبين الحنفية مقطوعة أفقيا ينتظم الاتصال بين المستودع وجسمى الطلونبة من ن الى ث والى ء بقناة مركزية واثنين جانبيين وتشغل الآلة كما ذكرنا حتى وقف شغلها أى امتنع صمام ز من الانفتاح تدار حنفية ك ٩٠ درجة كما فى شكل ٨٣

ومن هذا الوقت تغير الاتصالات كما ظاهر من شكلى ٨١ و٨٣ المقطوعين أفقيا وشكلى ٨٢ و٨٤ المقطوعين رأسيا فيصير جسم الطلونبة اليمين متصلا وحده بالمستودع بواسطة قناة ن م ث كما فى شكل ٨٣

بخلاف جسم الطلونبة اليسار فانه يوجد متصلا بواسطة قناة نافذة بانحراف فى الحنفية بفتحة مركزية وكائنة فى قاعدة جسم الطلونبة اليمين مفتوحة دائما

اذا علمت ذلك فعند رفع مكبس اليمين يجذب الهواء من المستودع وعند نزوله يدفع الهواء الذى كان جذبه فى جسم الطلونبة اليسار بواسطة فتحتى و ء لان فتحة ء تكون حينئذ مفتوحة حيث ان صمامها مرفوع ومتى صعد مكبس اليمين ثانيا انخفض مكبس اليسار لكن الهواء الذى تحته لا يرجع فى جسم الطلونبة اليمين لان فتحة ء تكون مغلقة بصمامها القمعى وباستمرار مكبس اليمين فى جذب الهواء من المستودع ودفعه فى جسم الطلونبة اليسار يتراكم الهواء فيه ويكتسب قوة كافية لرفع صمام ز من المكبس وكان ذلك غير ممكن قبل تدوير حنفية ك وباستعمال حنفية ازدواج التفريغ يتوصل لعمل الفراغ الى نصف مليمتر

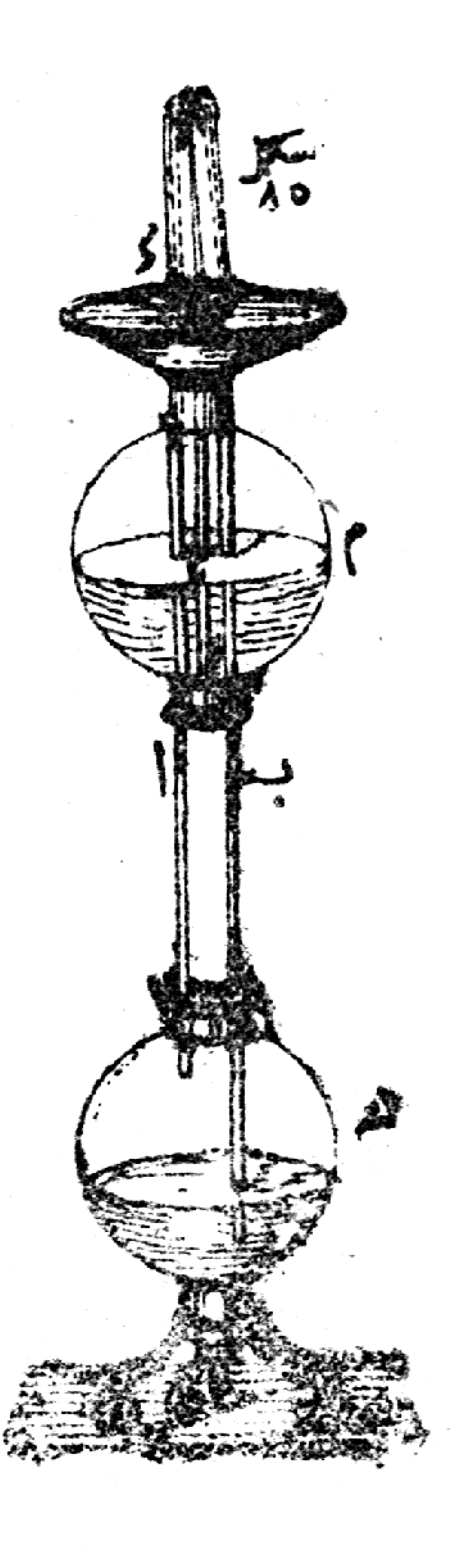
استعمال الآلة المفرغة علم مما تقدم أن هناك جملة تجارب تفعل بواسطة الآلة المفرغة كنزول الزيبق كالمطر فى اثبات المسام وكسقوط الاجسام فى الفراغ وثقب المثانة ونصفى كرة مجدبورج والباراسكوب وتستعمل الآلة المفرغة أيضا فى اثبات ان الهواء ضرورى لبقاء الاحتراق والحياة بواسطة الاوكسيجين المحتوى عليه وفى الواقع اذا وضع تحت ناقوس الآلة المفرغة جسم متقد كشمعة مثلا نشاهد أن اللهب يموت بمجرد عمل الفراغ وبعد ذلك تنطفئ الشمعة والحيوانات الثديية والطيور تهلك

حالا فى الفراغ والاسماك والزواحف تحمل فقد الهواء زمنا طويلا والحشرات تعيش جملة أيام فى الفراغ

والاجسام القابلة للتخمر تحفظ فى الفراغ بدون تغير زمنا طويلا حيث انها غير ملامسة للاوكسيجين الذى هو ضرورى للتخمر ولذا أن الاغذية اذا وضعت فى اناء طرد منه الهواء وسد سدا محكما حفظت جملة سنين

(المبحث الرابع فى نافورة هيرون)

نافورة هيرون المسماة باسم مخترعها الذى عاش فى الاسكندرية ١٢٠ سنة قبل التاريخ المسيحى تتركب من طست من نحاس ء شكل ٨٥ ومن كرتين من زجاج م ن قطراهما من ٢ الى ٣ ديسيمتر والطست متصل بالجزء السفلى لكرة ن بواسطة أنبوبة طويلة من نحاس ب وأنبوبة ثانية ا تجعل الاتصال بين الكرتين وأنبوبة ثالثة صغيرة نافذة فى الطست وواصلة للجزء السفلى من كرة م وهذه الانبوبة تنزع عند تشغيل النافورة لاجل ملء جزء من كرة م بالماء ثم توضع محلها ثانيا ويصب الماء حينئذ فى الطست فينزل من أنبوبة ب فى الكرة السفلى ويطرد منها الهواء فيندفع فى الكرة العليا ويتراكم فيها بضغط على الماء فينبثق الماء كما يوضحه الشكل المذكور ولولا مقاومة الهواء والاحتكاك لارتفع السائل أعلى استواء م لارتفاع يساوى البعد بين التسويتين فى الكرتين وأسس على قاعدة نافورة هيرون استعمال المصابيح الايدروستاتيكية

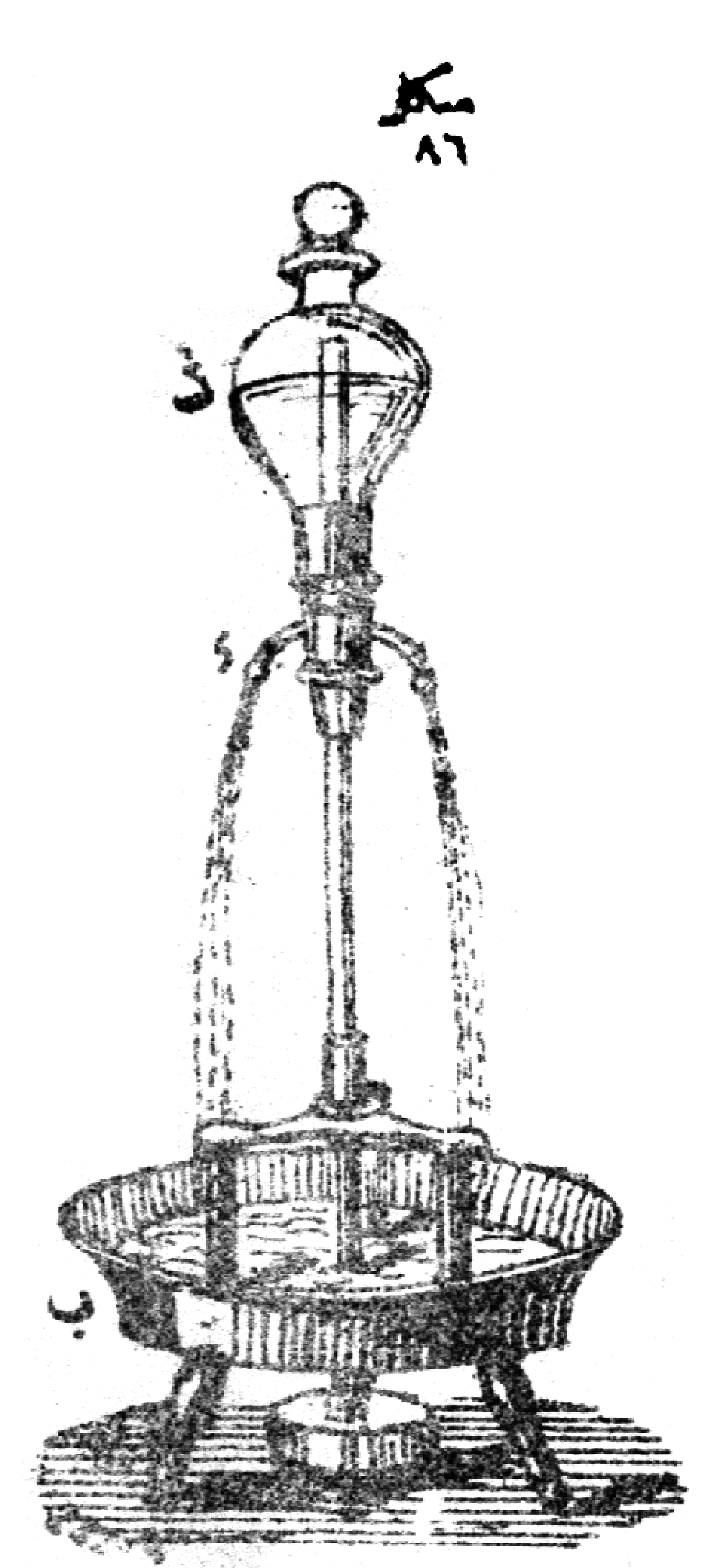


وهذا

وهذا الجهاز المذكور مؤسس على قوة مرونة الهواء والجهاز الآتى مؤسس عليها وعلى ضغط الجو

(المبحث الخامس فى النافورة المتقطعة)

النافورة المتقطعة متكونة من كرة من زجاج ث شكل ٨٦ مسدودة سدا محكما بسدادة من جنسها وفيها فتحتان أو ثلاثة شعرية ء منها يحصل السيلان ومن أنبوبة بلور مفتوحة الطرفين نافذة بأحد طرفيها فى كرة ث وطرفها الثانى ينتهى بالقرب من فتحة مركزية كائنة فى طست من نحاس ب حامل الجهاز فتى ملئت كرة ث بالماء لثلثيها تقريبا سال السائل أولا من الفتحات ء كما يظهره الشكل المذكور لان الضغط الباطنى الواقع على ء يساوى ضغط الجو المنتقل بواسطة الجزء السفلى للانبوبة البلور ويزيد عليه بثقل عمود الماء ء ث وبذلك يغلب على الضغط الظاهرى الواقع على نفس نقطة ء ويستديم السيلان مادامت الفتحة السفلى للانبوبة



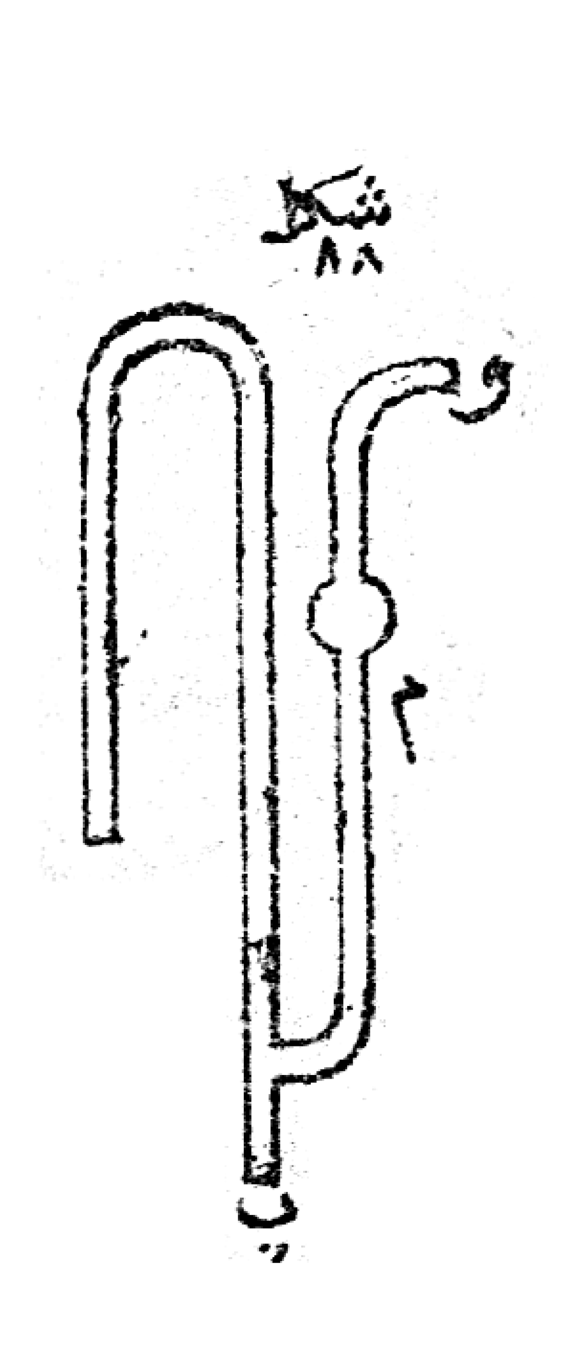
البلور مفتوحة أعنى مادامت شدة الهواء الباطنى مساوية لضغط الجو لان الهواء يدخل بمجرد سيلان الماء لكن اذا نظم الجهاز بشرط أن لا يسيل من الفتحة المصنوعة فى قاع الطست ب الا مقدار من الماء أقل من الماء النازل من فتحات د ارتفع استواء الماء فى الطست شيئا فشيئا وغمر طرف الانبوبة البلور بالكلية وحينئذ فلا يمكن الهواء الظاهرى أن يصل الى كرة ث ويتخلخل الهواء الذى فيها عند استمرار السيلان من فتحات ء ويأتى زمن فيه يتعادل ضغط عمود الماء ء ث وشدة الهواء المنحصر فى الجهاز

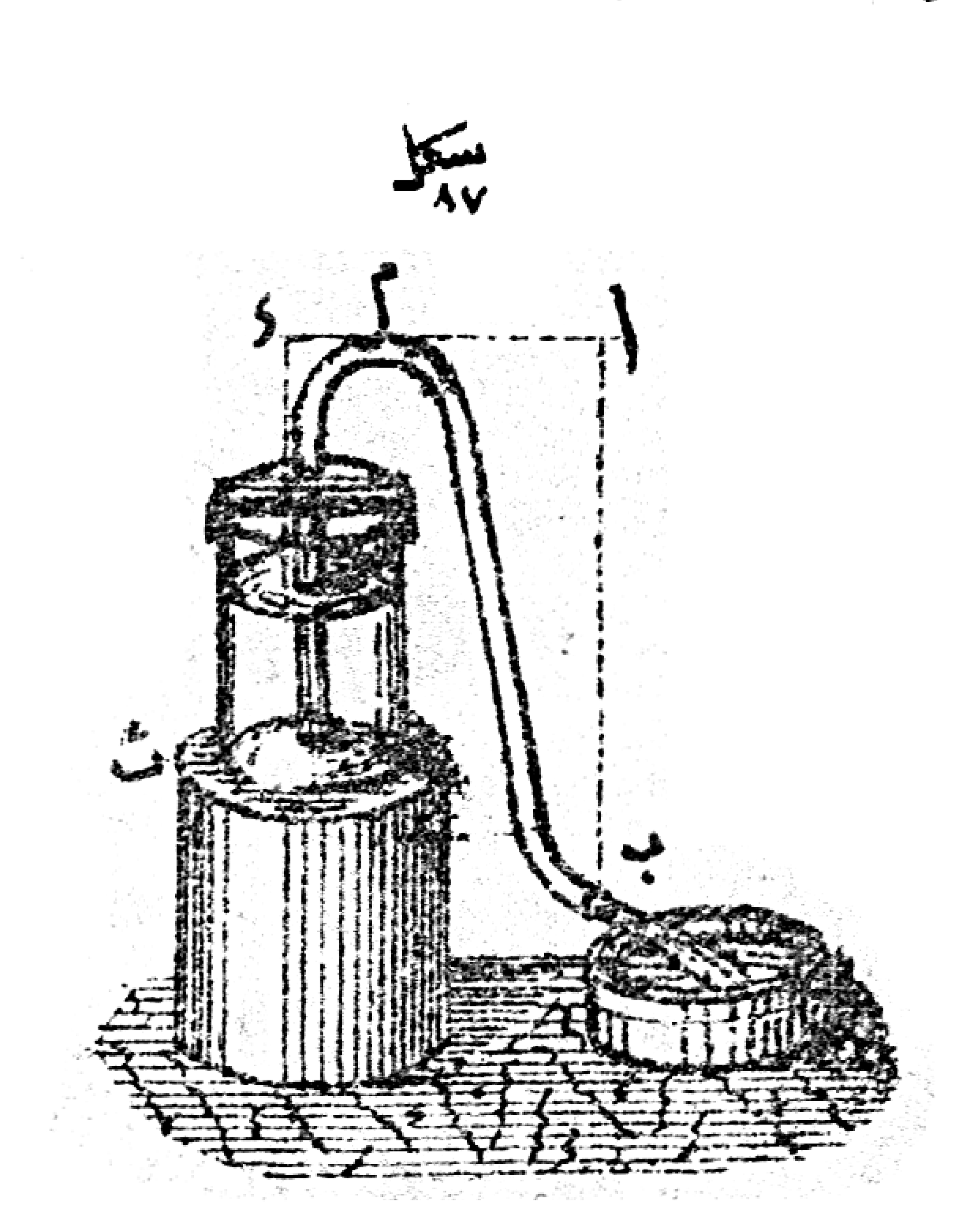
مع الضغط الظاهري المؤثر على فتحات ء وبناء على ذلك يمتنع السيلان وحيث ان الطست مستمر سيلان الماء منه فينكشف الطرف السفلي للانبوبة ويدخل حينئذ الهواء ويبتدئ السيلان ثانيا وهكذا ما بقي الماء في كرة ث

(المبحث السادس في الممص)

الممص أنبوبة منحنية الى شعبتين غير متساويتين تستعمل لتفريغ السوائل من أعلى حافة اناء الى آخر والشعبة القصيرة هي التي تغمر في الاناء المراد تفريغه كما في شكل ٨٧ ولاجل استعمال هذه الآلة تملأ أولا بالسائل ولاجل ذلك تقلب وتملأ مباشرة وتسد فتحتاها في الحال وتوضع كما هو موضح في الشكل المذكور أو تغمر الشعبة القصيرة في السائل ويجذب الهواء الذي في الجهاز من فتحة ب بواسطة الفم فيحصل الفراغ حينئذ في الجهاز ويندفع سائل الاناء ث في الانبوبة بتأثير الضغط الجوي ويملؤها ويستمر سيلانه

ومتى كان السائل المراد تفريغه مضرا بالفم فانه يستعمل ممص ملحوم فيه أنبوبة أخرى م كما في شكل ٨٨





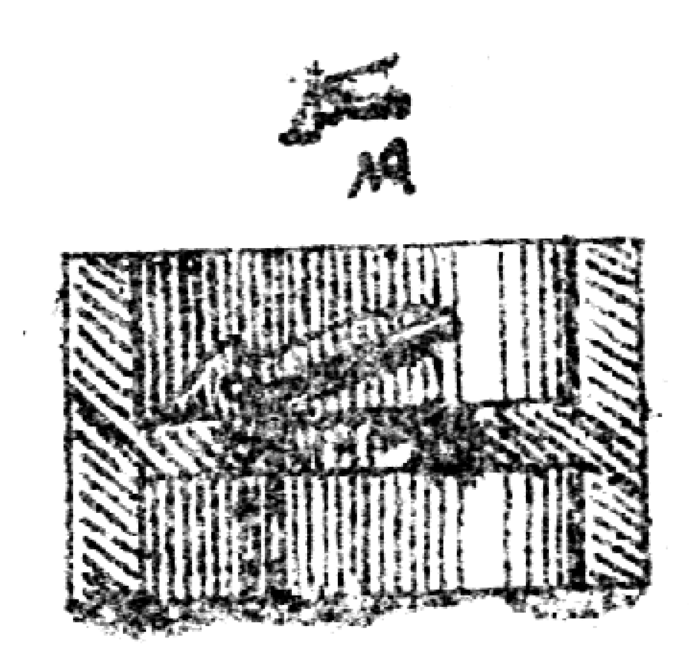
موازية للشعبة الكبيرة وحينئذ فيجذب الهواء من الجهاز بواسطة فتحة ولهذه الانبوبة المضافة مع الانتباه لسد فتحة ب زمن جذب الهواء ومنع ارتفاع السائل فى الانبوبة المضافة الى الفم ومتى امتلأ الممص بأى عمل كان استمر السيلان من الشعبة الصغيرة جهة الكبيرة مادامت الشعبة الصغيرة مغمورة فى السائل

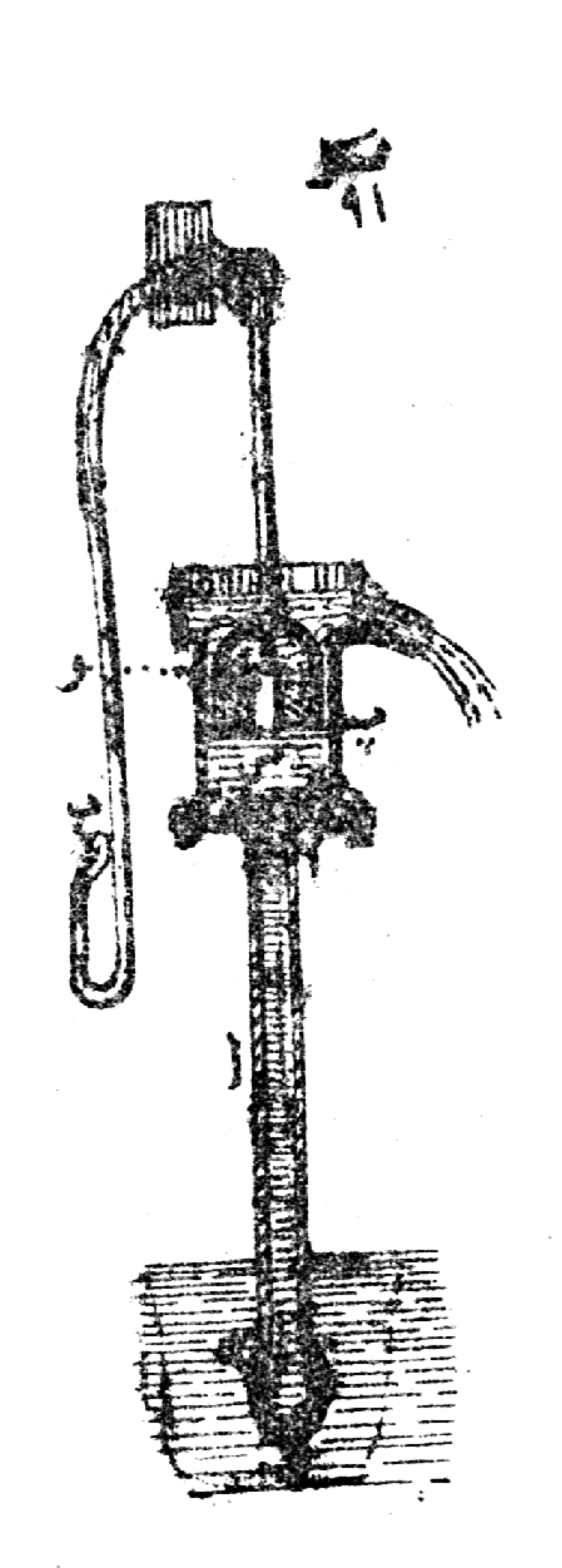
ولاجل معرفة كيفية حصول هذا السيلان يلزم ملاحظة أن القوة التى تضغط السائل فى ث شكل ٨٧ المتقدم وتحركه الى السيلان فى اتجاه ث م ب مساوية للضغط الجوى ناقص ثقل عمود الماء الذى ارتفاعه ء ث وأيضا القوة فى ب التى تحرك السائل فى اتجاه ب م ث هى ثقل الجو ناقص ثقل عمود من الماء ارتفاعه ا ب وحيث ان العمود الاخير اكبر من عمود ء ث فينتج من ذلك أن القوة الحقيقية المؤثرة فى ب أصغر بكثير من القوة المؤثرة فى ث ويحصل السيلان حينئذ بالتفاضل بين القوتين وتكون سرعة الانصباب أعظم كلما كان فرق الاستواء بين فتحة ب وسطح السائل فى اناء ث أعظم ويستنتج من نظرية الممص أنه لايتم وظيفته فى الفراغ ولا اذا كان ارتفاع ث ء أعظم من عمود السائل الذى يوازن الضغط الجوى ومن أراد الاطلاع على باقى الممصات فعليه بالمطولات

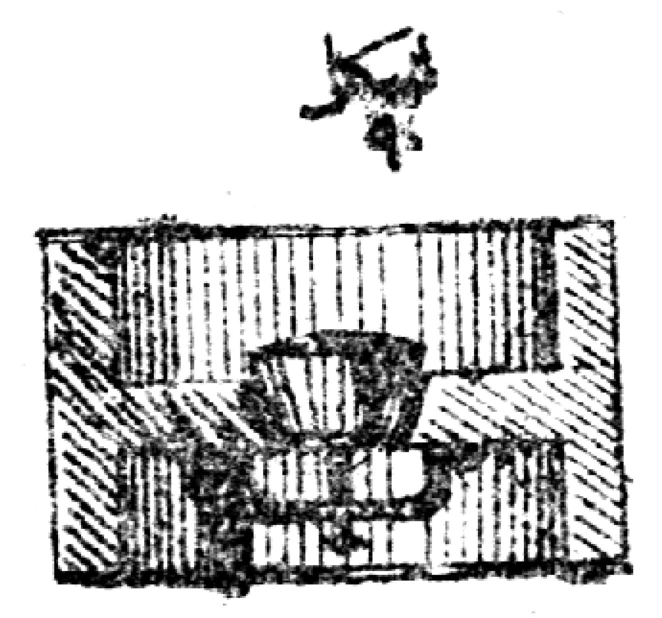
(المبحث السابع فى الطلونبات)

الطلونبات آلات تستعمل لرفع المياه بالمص أو الكبس أو بهما معا ولذلك تنقسم الطلونبات الى ماصة وكابسة وماصة كابسة وقبل غليلى كان ينسب صعود الماء فى الطلونبات الماصة الى كراهة الطبيعة للفراغ وسنشاهد أن هذه الظاهرة نتيجة تأثير ضغط الجو والقطع المختلفة التى تدخل فى تركيب الطلونبة هى جسم الطلونبة والمكبس والصمامات وأنابيب المص والصعود فجسم الطلونبة اسطوانة مجوفة ثابتة من معدن أو خشب فيها المكبس الذى هو اسطوانة من معدن أو خشب موشحة بالمشاق تنزلق مع محاكة لطيفة فى جميع طول جسم الطلونبة والصمامات أقراص من معدن أو من جلد تستعمل لغلق وفتح الفتحات التى توصل جسم الطلونبة بانابيب المص والصعود والانابيب هى التى يصعد فيها الماء أولا الى جسم الطلونبة ثم يندفع لاعلى وتصنع أنواع من الصمامات وأكثرها استعمالا الصمام المتكون من قطعتين

منضمتين بقضيب من حديد شكل ٨٩
والصمام القمعي شكل ٩٠
فالاوّل قرص معدني مثبت على حافة الفتحة التي يغلقها بواسطة نوع رزة ولاجل أن يكون الغلق محكما يوسع السطح السفلي للقرص بجلد ثخين وفي الغالب يسمر طرف هذا الجلد على حافة الفتحة المعد لغلقها متى كان قطره أعرض من القرص وفي هذه الحالة تقوم ليونته مقام الرزة والصمام القمعي قمع معدني يدخل في فتحة قمعية أيضا وتحت هذه الفتحة قضيب من حديد يمر فيه زر ذو رأس مثبت في الصمام والغاية من هذا الوضع تحديد حركة الصمام متى ارتفع بواسطة الماء ومنعه من الانقلاب
الطلونبة الماصة هي مبينة مقطوعة في شكل ٩١


شكل ٨٩


شكل ٩١


شكل ٩٠

وتتركب هذه الطلمبة أولا من جسم طلمبة اسطوانى فى جزئه العلوى فتحة جانبية يسيل منها الماء ومثقوب من قاعدته بفتحة مغطاة بصمام س ينفتح من أسفل الى أعلى ثانيا من أنبوبة مص ا مثبتة من أحد طرفيها فى جسم الطلمبة وطرفها الثانى مغمور فى السائل الذى يقصد رفعه ثالثا من مكبس ب يحمل ساقا يتحرك حركة ذهاب واياب بواسطة رافعة ب والمكبس فى مركزه ثقب مغطى بصمام ص ينفتح من أسفل الى أعلى

فمتى كان المكبس فى نهاية انخفاضه ورفع حصل الفراغ أسفله وبقى صمام ص مغلقا بضغط الجو وحينئذ يرفع الهواء الكائن فى أنبوبة ا بالنظر لقوة مرونته صمام س ويمر جزء منه فى جسم الطلمبة وحيث ان هواء الانبوبة صار حينئذ متخلخلا فان الماء يصعد فيها الى أن يوازن ثقل عمود الماء المرتفع وشدة الهواء الباقى فى الانبوبة الضغط الجوى الواقع على الماء من الخارج

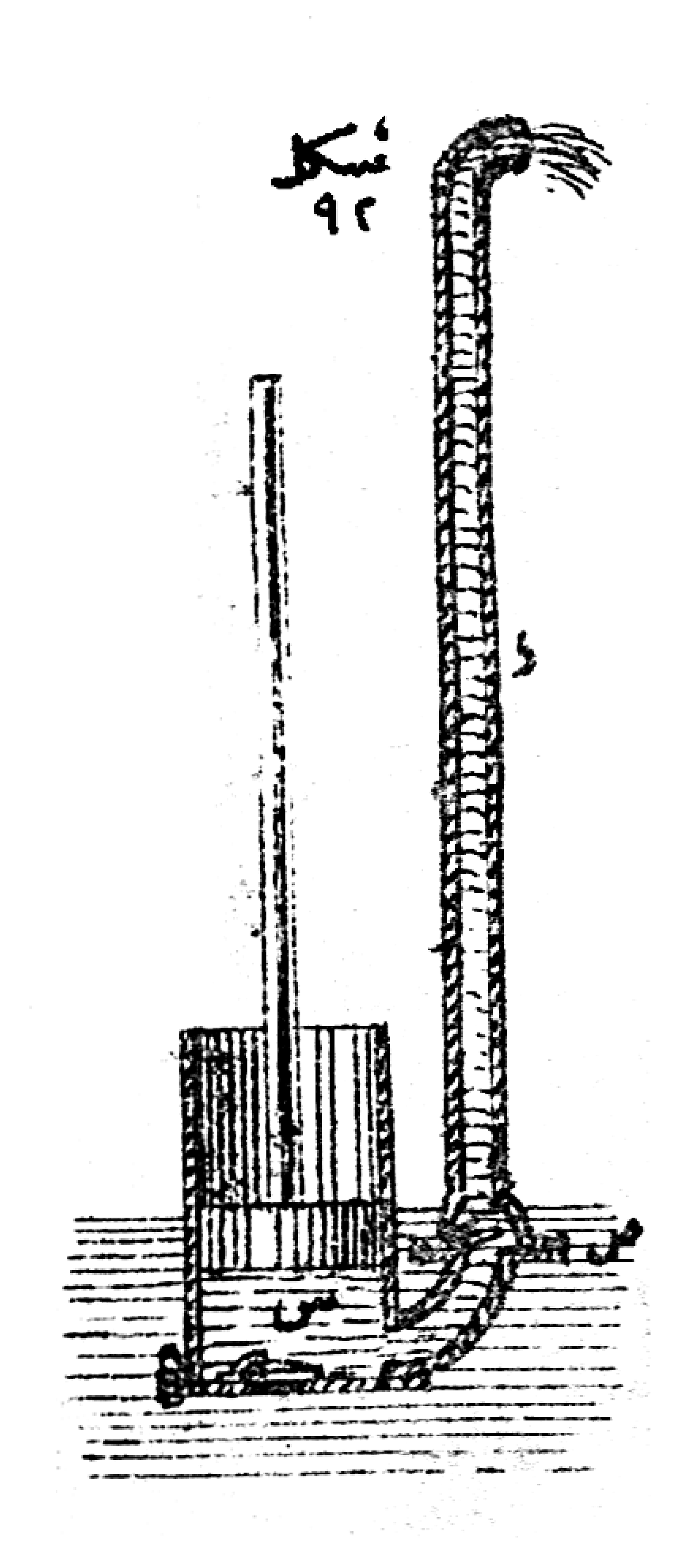
ومتى نزل المكبس انغلق صمام س بثقله النوعى ومنع رجوع الهواء من جسم الطلمبة الى أنبوبة المص وحينئذ فيفتح الهواء المنضغط بالمكبس صمام ص ويصعد فى الجو من الثقب المصنوع فى المكبس وبرفع المكبس مرة ثانية تحدث الظواهر عينها وبعد تشغيله عدة مرات يصعد الماء فى جسم الطلمبة ومن هذا الوقت يتنوع الفعل الحادث أعنى أن فى مدة نزول المكبس ينغلق صمام س والماء المنضغط يرفع صمام ص ويصعد أعلى المكبس والمكبس يرفعه بعد ذلك عند صعوده الى الفتحة الجانبية التى ينصب منها وحينئذ فلا يوجد هواء فى جسم الطلمبة ولا فى أنبوبة المص ويتبع الماء المدفوع بضغط الجو المكبس فى حركته بشرط أن لا يرتفع أكثر من ١٠ر٣٠ أمتارا أعلى من استواء الماء الذى فى الحوض المغمور فيه أنبوبة المص ا وفى الواقع تقدم أن ثقل عمود الماء الذى ارتفاعه ١٠ر٣٠ أمتارا يعادل ضغط الجو

ولاجل معرفة الارتفاع الذى يمكن اعطاؤه لانبوبة المص ا ينبغى ملاحظة أن المكبس فى تشغيل الطلمبة لا ينطبق بالتحكيم على قاعدة جسمها وانه متى كان فى أسفل حركته يوجد أيضا أسفله مسافة قليلة ملآنة بهواء فى الضغط المعتاد ولتكن هذه المسافة مساوية $\frac{1}{30}$ من حجم جسم الطلمبة فالهواء المنحصر فيها يتمدد بمجرد ارتفاع المكبس

ومتى وصل لاعلى حركته كانت شدة الهواء الذى فى جسم الطلونبة $\frac{1}{3}$ من الضغط الجوى بمقتضى قاعدة مريوط وحينئذ فلايمكن ان تخلخل هواء أنبوبة المص اكثر من هذا الحد وبناء على ذلك فلا يصعد الماء فى هذه الانبوبة الا ارتفاع يساوى $\frac{29}{30}$ من ١٠٫٣٠ أمتارا أعنى الى ٩٫٩ أمتارا وهذا الارتفاع زائد أيضا عن الارتفاع المطلوب حيث يلزمه صعود الماء بمقدار يسير فوق صمام س وحينئذ فلا تكون أنبوبة المص على العموم أكثر من ثمانية أمتار

وفى الطلونبة الماصة يصعد الماء ابتداء فى أنبوبة المص بتأثير الضغط الجوى ولا يتجاوز ارتفاعه حينئذ ثمانية أمتار الى تسعة لكن متى مرّ أعلى المكبس فقوة صعود المكبس هى التى ترفعه والارتفاع الذى يصل اليه حينئذ متعلق بالقوة التى تحرك المكبس

الطلونبة الكابسة هذه الطلونبة تؤثر بالكبس كما يدل عليه اسمها وهى مبينة مقطوعة فى شكل ٩٢

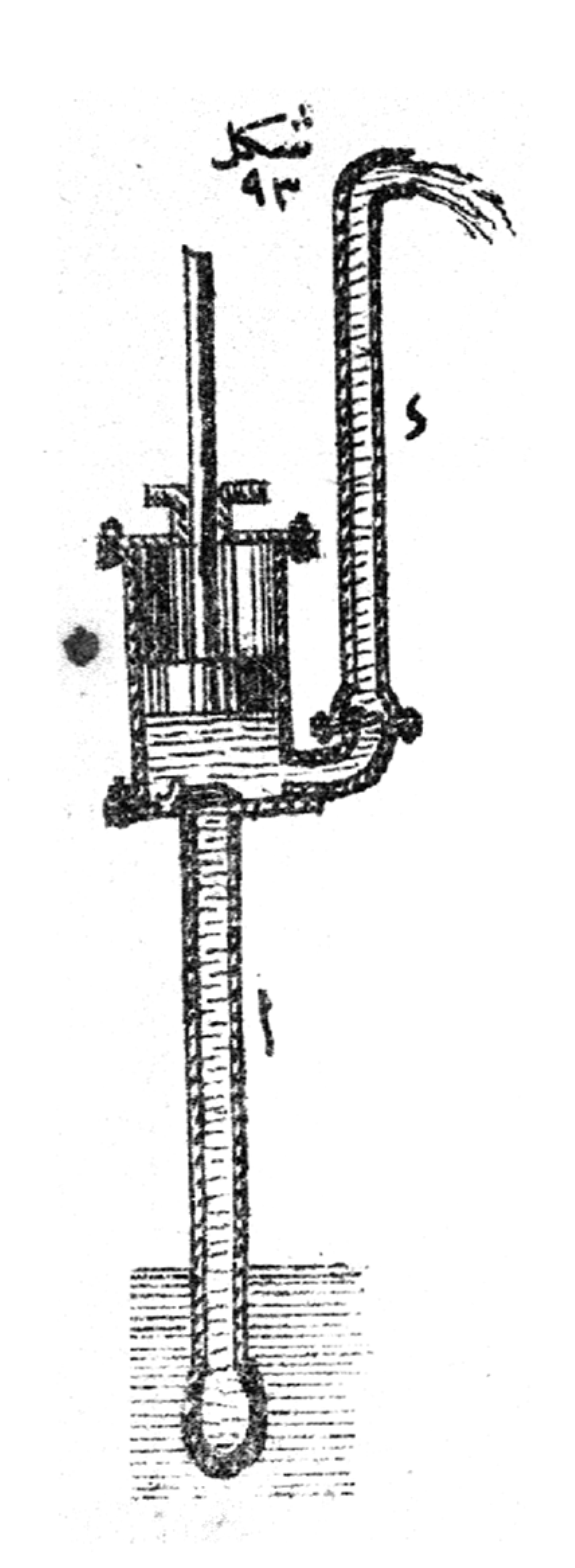


وتخالف السابقة بكون مكبسها مصمتا وليس لها أنبوبة مص حيث ان جسم الطلونبة يكون مغمورا فى نفس الماء الذى يقصد رفعه وبالجملة فوفق على جانب جسم الطلونبة أنبوبة ء التى هى أنبوبة صعود الماء وفى الجزء السفلى من هذه الانبوبة صمام ص ينفتح من أسفل الى أعلى وفى قاعدة جسم الطلونبة صمام س مشابه له فتى صعد المكبس انفتح صمام س وارتفع بدفع السائل وامتلأ جسم الطلونبة ثم ينزل وله ينغلق

صمام

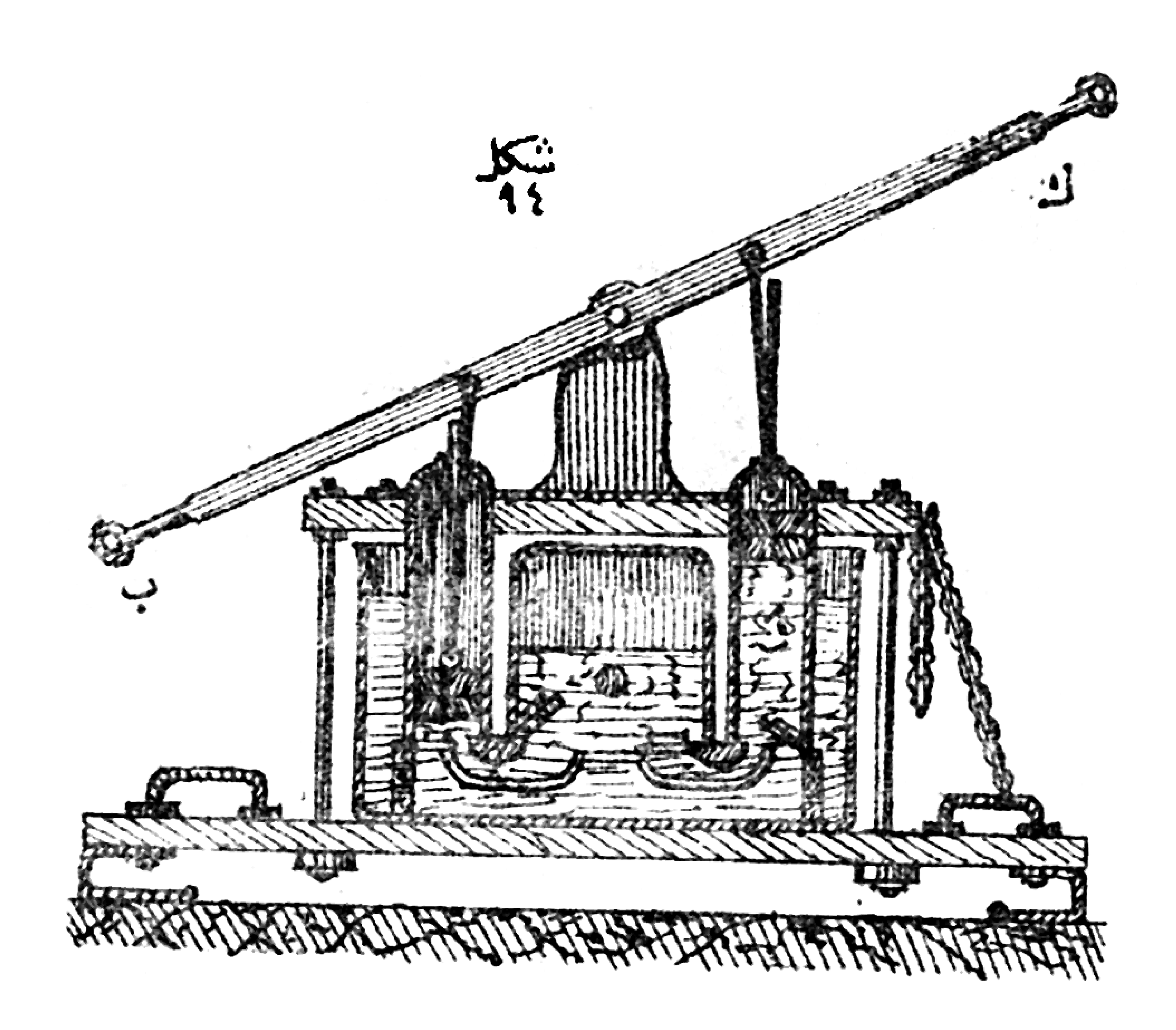
صمام س بثقله النوعى و بالضغط الواقع عليه ويفتح الماء المضغوط بالمكبس صمام ص ويصعد فى أنبوبة ء الى ارتفاع ليس له حدّ الا الضغط الحاصل بالمكبس ومقاومة الجهاز

الطلونبة الماصة الكابسة هذه الطلونبة ترفع الماء بالمص والكبس معا وهى موضحة مقطوعة فى شكل ٩٣



ومكبسها مصمت وفى قاعدة جسم الطلونبة صمام ينفتح من أسفل الى أعلى و يغلق أنبوبة المص ا وعلى جانب جسم الطلونبة أنبوبة الصعود ء مع صمامها فتى اشتغلت الطلونبة فالماء الممتص بأنبوبة ا عند صعود المكبس كل مرة يندفع فى أنبوبة ء عند نزول المكبس فى كل مرة وأما حدّا امتصاص وصعود الماء فكما فى الطلونبتين السابقتين وفى الطلونبة الماصة الكابسة الموضحة فى شكل ٩٣ يكون السيلان متقطعا لانه لا يحصل الا اذا انخفض المكبس و يقف متى صعد ثانيا و يصلح هذا العيب بواسطة حوض هوائى كما سيشاهد فى طلونبة الحريقة

طلونبة الحريقة هى طلونبة كابسة يحصل انتظام سيلان الماء فيها بواسطة الحوض الهوائى المتقدم ذكره و بواسطة طلونبتين كابستين يؤثران على التوالى كما فى شكل ٩٤



فطلومبتا م ن المتحركتان برافعة واحدة ب ك بواسطة ثمانية أشخاص مغمورتان فى صندوق يستمر ملؤه بالماء مدة تشغيل الآلة وعلى حسب تنظيم الصمامات يشاهد انه متى جذبت احدى الطلومبتين الماء من الصندوق كبسته الاخرى فى جزء ر المسمى بالحوض الهوائى ومنه يمر من فتحة ز فى أنبوبة طويلة من جلد توجهه الى محل الحريقة وبدون اضافة الحوض الهوائى ينقطع انصباب الماء كلما وصلت المكابس لاعلى أولاسفل حركتها او يصير سيلان الماء متقطعا وحينئذ يزول هذا الضرر بواسطة الحوض الهوائى وفى الواقع حيث انّ سرعة دخول الماء فى هذا الحوض أعظم من خروجه فانه يرتفع استواؤه أعلى من فتحة ز ويضغط الهواء المالئ للحوض وينتج عن ذلك أنه عند وقوف المكابس فى كل مرة يؤثر هذا الهواء المنضغط حينئذ على السائل ويقهره على السيلان فى زمن وقوف المكابس القصير جدّا ويشاهد من ذلك أن فائدة الحوض الهوائى صيرورة السيلان مستمرّا

*(المبحث

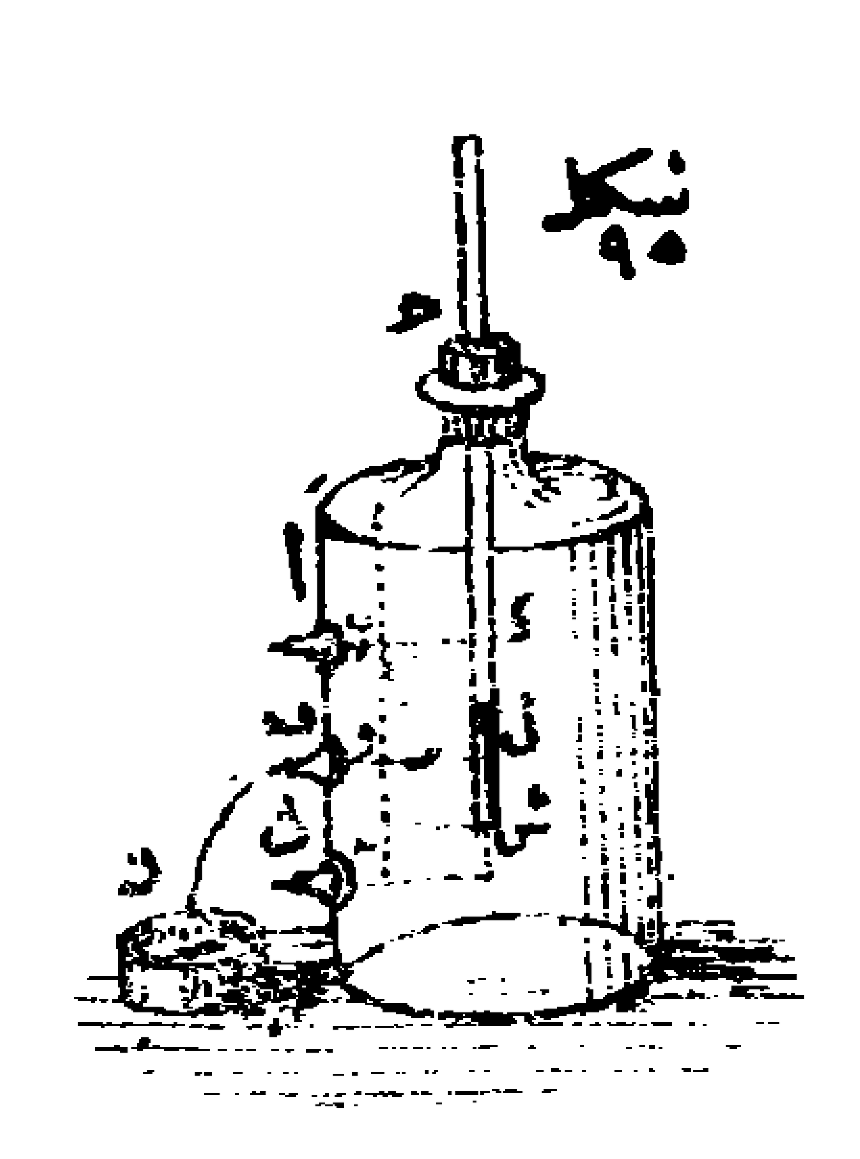
(المبحث الثامن فى الثقل الذى يتحمله المكبس)

متى ملأ الماء فى الطلونبة الماصة المتقدمة فى شكل . ٩١ المتقدم أنبوبة المص وجسم الطلونبة الى فتحة السيلان كانت القوة اللازمة لرفع المكبس مساوية لثقل عمود من الماء قاعدته المكبس وارتفاعه البعد الرأسى من فتحة السيلان الى استواء الماء فى الحوض الممتص منه الماء وفى الواقع ليكن ش الضغط الجوى و ه ارتفاع الماء أعلى المكبس و هَ ارتفاع عمود الماء المالئ أنبوبة المص ا والجزء السفلى من جسم الطلونبة فيكون الضغط أعلى المكبس ش + ه والضغط أسفله ش ـ هَ لان ثقل عمود الماء يميل لموازنة الضغط الجوى وحينئذ حيث ان الضغط ش ـ هَ يميل لرفع المكبس فتكون المقاومة الحقيقية مساوية لزيادة ش + ه على ش ـ هَ أعنى مساوية الى ه + هَ

وفى الطلونبة الماصة الكابسة شكل ٩٣ المتقدم يشاهد بسهولة أن الضغط المتحمله المكبس يكون أيضا مساويا لثقل عمود من الماء قاعدته قطاع المكبس وارتفاعه الارتفاع الواصل اليه الماء

(المبحث التاسع فى اناء مريوط واستعماله)

اناء مريوط جهاز يظهر عدة أفعال معتبرة لضغط الجو ويحصل بواسطته سيلان مستمر وهو اناء فمه مغلق بسدادة كما فى شكل ٩٥ تمر فيها أنبوبة من زجاج مفتوحة الطرفين وعلى جانب الاناء ثلاث فتحات ا ب ث لكل منها فوهة ضيقة مغلقة بسدادة من خشب



فمتى كان الاناء والانبوبة ملآنين بالماء ملأ تاما والطرف السفلى للانبوبة ﺟ مفروضا واقفا بين فتحتى ب و ث كما يظهره الشكل تشاهد عدة ظواهر عند فتح أحد الفوهات ا ب ث على التوالى أولا اذا فتحت فوهة ب حصل سيلان الماء وانخفاض استوائه فى أنبوبة ﺟ ومتى صار الاستواء فيها وفى ب واحدا وقف السيلان وتفسر هذه الظواهر بزيادة الضغط الذى كان واقعا ابتداء على ب من الداخل الى الخارج وزالت تلك الزيادة عند مساواة استواء

الماء فى أنبوبة جـ وفى ب وفى الواقع أن الضغط المؤثر على جميع نقط الطبقة الافقية ليس واحدا قبل حصول السيلان لانه يكون فى و متركا من ضغط الجوّ زائد ثقل عمود الماء جـ و بخلافه فى ب فانه يكون مساو يا فقط الضغط الجوّ ومتى صار استواء الماء واحدا فى ب وفى و فانها تحصل الموازنة لان الضغط يصير حينئذ فى الزجاجة وفى الانبوبة واحدا على جميع نقط الطبقة الافقية ب و ويكون الضغط المؤثر فى هذه الحالة على ب وعلى و مساو يا الضغط الجوّ

ثانيا اذا غلقت فوهة ب وفتحت فوهة ا فلا يحصل سيلان بل بالعكس يدخل الهواء فى الزجاجة من فوهة ا و يصعد الماء فى أنبوبة جـ الى طبقة ا د وفى هذا الوقت تنتظم الموازنة وفى الواقع تسهل معرفة أن الضغط يكون حينئذ واحدا على جميع نقط الطبقة الافقية ا د بتعقل مشابه للسابق

ثالثا اذا غلقت فوهة ا وفوهة ب وفتحت فوهة ث فيحصل فى هذه الحالة سيلان سريع مستمرّ مادام استواء الماء فى الزجاجة لم ينزل أسفل فتحة ل من الانبوبة ويدخل الهواء حينئذ كرات متوالية من هذه الفتحة و يشغل الجزء العلوى من الزجاجة محل الماء الذى سال

ولاجل اثبات استمرار السيلان من فتحة ث يلزم أن نوضح أن الضغط المؤثر على الطبقة الافقية ث ش مساو لضغط الجوّ زائد ضغط عمود الماء ش ل

ولنفرض أنّ استواء الماء فى الزجاجة يكون منخفضا الى طبقة ا د وحينئذ يتحمل الهواء الذى نفذ فى الزجاجة ضغطا مساويا للضغط الجوّ هـ ـ ب ن وبالنظر لمرونته يرجع هذا الضغط ثانيا الى طبقة ث ش وحيث انّ هذه الطبقة تتحمل زيادة على ذلك ثقل عمود الماء ب م فيكون الضغط حينئذ المنتقل على م فى الحقيقة ب م + هـ ـ ب ن أو هـ + م ن أعنى هـ + ش ل ويثبت بهذه الكيفية أنّ هذا الضغط يكون أيضا واحدا متى انخفض استواء الماء الى ب و وهكذا مادام الاستواء أعلى من فتحة ل ويكون الضغط حينئذ على طبقة ث ش مستمرا وبناء على ذلك تكون سرعة السيلان لكن متى نزل الاستواء أسفل نقطة ل تنقص هذا الضغط وتبعته السرعة

وبمقتضى ماتقدم يتحصل بواسطة اناء مربوط سيلان مستمرّ ولاجل ذلك يملأ بالماء وتفتح الفوهة الموضوعة أسفل فتحة ل من الانبوبة وتكون سرعة السيلان حينئذ مستمرة ومناسبة لجذر مربع ارتفاع ل ش

*(الباب

(الباب الخامس فى الاكوستيك أى نظرية الصوت وفيه فصول)

(الفصل الاول فى تولد وسريان وانعكاس الصوت وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى القصد من الاكوستيك)

القصد من الاكوستيك دراسة الاصوات واهتزازات الاجسام المرنة فعلم الالحان اى الموسيقة يبحث عن الاصوات بالنسبة للاحساسات والملاذ البشرية التى تنعش الانسان والاكوستيك لا يبحث الا عن خواص الاصوات بقطع النظر عن الاحساس الذى يجده الانسان عند سماعها

(المبحث الثانى فى الصوت والدوى)

الصوت هو احساس يهيج عضو السمع ينتج عن حركة الاجسام المهتزة متى أمكنها الانتقال الى الاذن بواسطة وسط مرن

وجميع الاصوات ليست متحدة أعنى انها تظهر باختلافات واضحة بحيث يمكن تمييز بعضها عن بعض ومقارنتها وتعيين مقاديرها النسبية

ويتميز الصوت عن الدوى بأن الصوت الحقيقى أو الموسيقى هو الذى يحدث احساسا تاما ويمكن تقويم مقداره بخلاف الدوى فانه صوت سريع الزوال بحيث لا يمكن تقويم مقداره كدوى المدفع أو هو اختلاط جملة أصوات غير متفقة كصوت الرعد ودوى الامواج ومع ذلك فالفرق بين الصوت والدوى غير ظاهر ظهورا قطعيا فان الاسماع الحادة يمكنها تعيين المقدار الموسيقى للدوى الناشئ عن عربة تدور على الحجر النحت

(المبحث الثالث فى أسباب الصوت)

الصوت هو نتيجة الحركة الاهتزازية السريعة لجزيئات الاجسام المرنة فتى اضطربت الحالة الانتظامية لهذه الجزيئات من تأثير صدمة أو دلك فانها تميل حينئذ الى أخذ وضعها الاول لكنها لا ترجع له الا بعد فعل حركات اهتزازية سريعة تنقص سعتها بسرعة

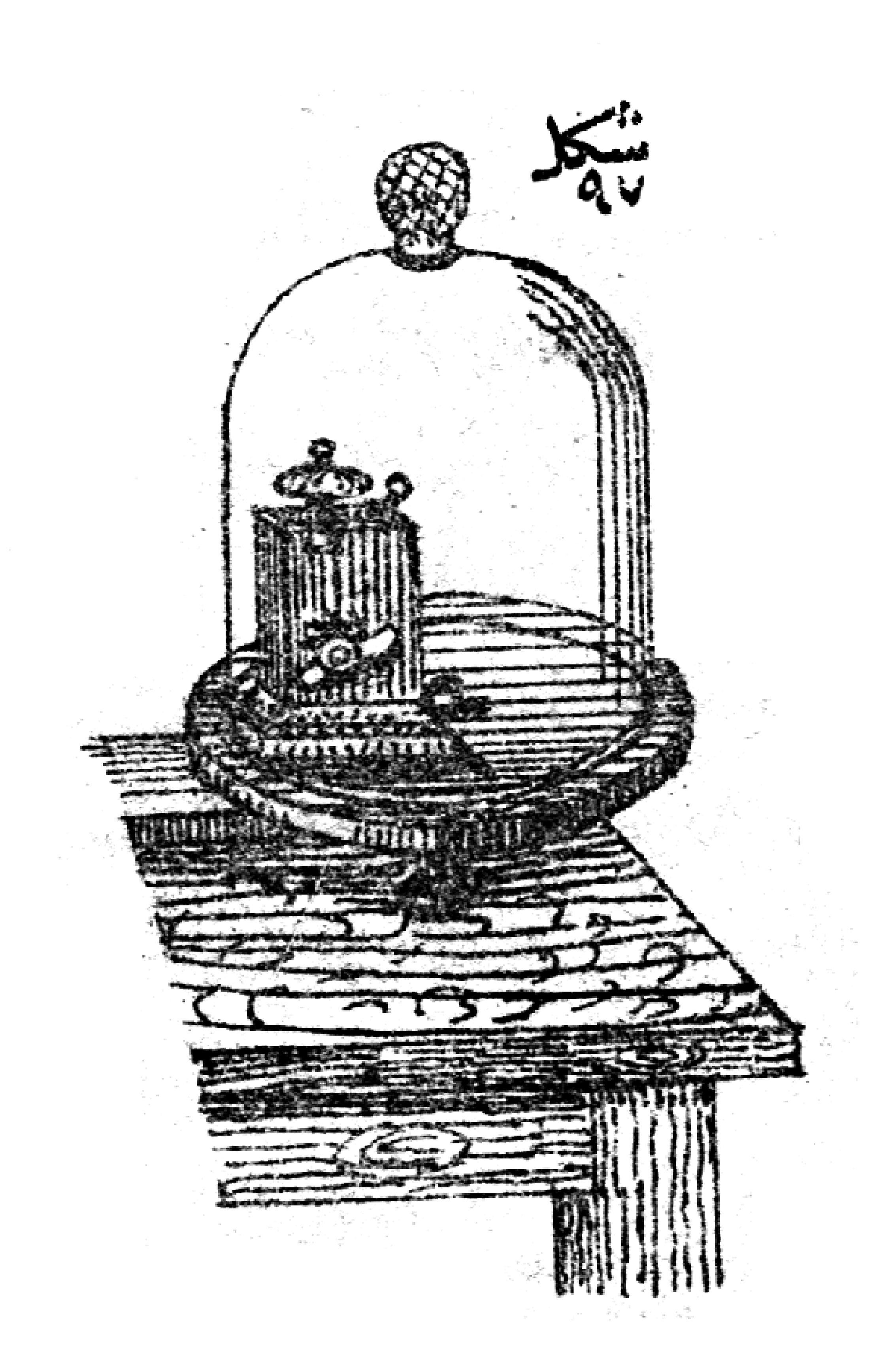
ويسمى جسما رنانا كل جسم يولد الصوت ويسمى اهتزازا بسيطا الحركة التى لا تشتمل الا على ذهاب أو إياب الاجزاء المهتزة واهتزازا مزدوجا أو تاما الحركة التى تشتمل على ذهاب و إياب الاجزاء المهتزة

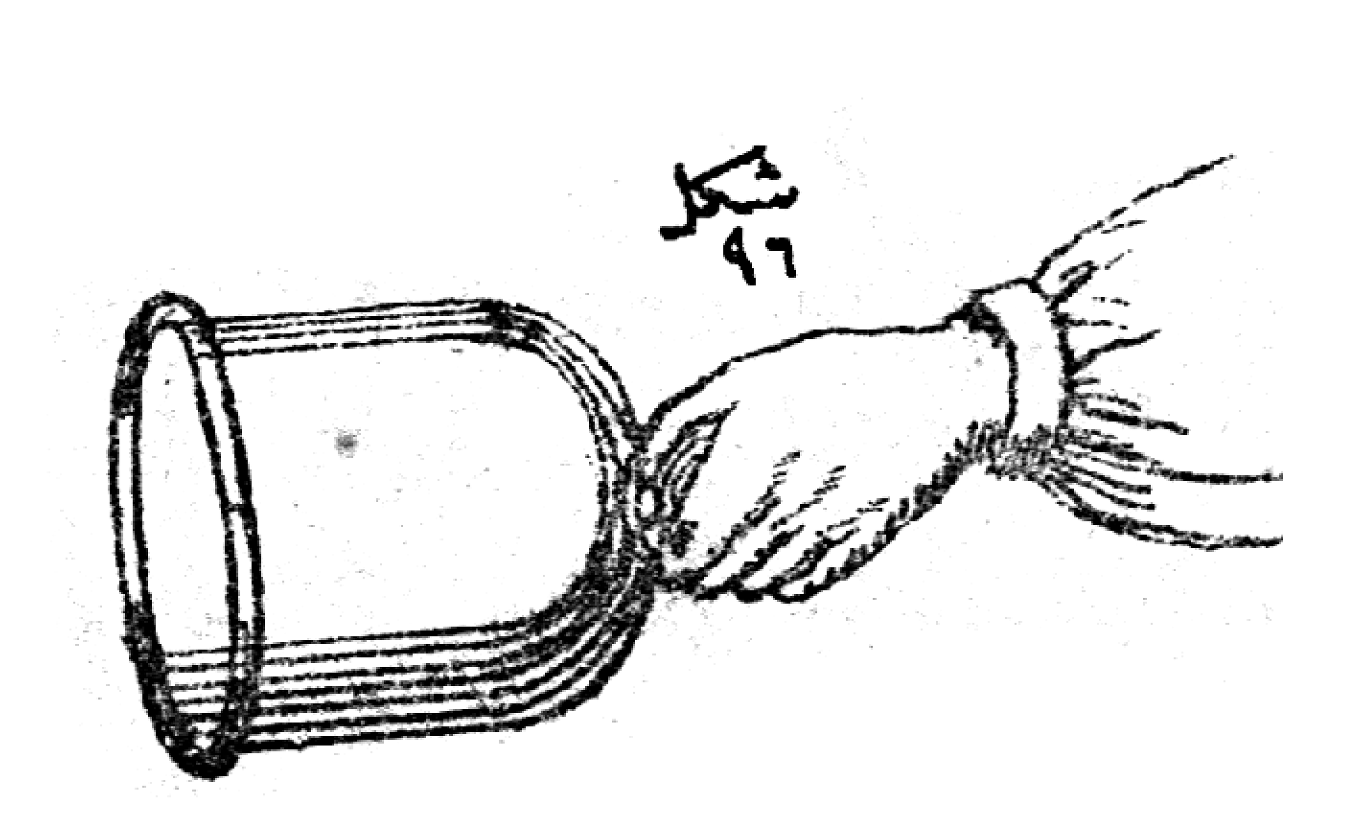
ويسهل اثبات الاهتزازات بالتجارب الآتية وهى اذا ذرّ رمل ناعم خفيف على جسم يولد الصوت أى رنان اكتسب الرمل حركة سريعة وصارت اهتزازات الجسم حينئذ مشاهدة بالبصر وكذلك اذا قبض على وتر موترليس بالطويل جدّا وترك ظهرت اهتزازاته للبصر أو أمسك ناقوس من زجاج أفقيا باليد من زره كما فى شكل ٩٦ وضرب على الناقوس بأصبع اليد الاخرى ليهتز ووضعت حينئذ داخل الناقوس قطعة من معدن أو من جسم آخر صلب ارتفعت بسرعة بواسطة الاهتزازات المتوالية للجدران التى يسمع عليها تكرار المصادمة لكن اذا وضعت اليد على الناقوس وقفت الاهتزازات وانقطع التصادم حالا

(المبحث الرابع فى عدم سريان الصوت فى الفراغ)

لا يدرك الصوت المتولد عن اهتزاز الاجسام المرنة الا بواسطة وسط قابل للوزن كائن بين الاذن والجسم الرنان مهتز معه وهذا الوسط هو عادة الهواء لكن الغازات والابخرة والسوائل والاجسام الصلبة تنقل الصوت أيضا

والدليل على أنه لابدّ من وجود الوسط القابل للوزن لسريان الصوت التجربة الآتية وهى أن يوضع تحت ناقوس الآلة المفرغة جرس معدنىّ تضربه مطرقة صغيرة تتحرّك حركة مستمرّة كحركة الساعة الدقاقة كما فى شكل ٩٧





أو توضع ساعة دقاقة فما دام الناقوس ممتلئا بالهواء في الضغط المعتاد تسمع رنات الجرس سماعا متميزا لكن بمجرد تخلخل الهواء تفقد شدة الصوت وينقطع ادراكه متى حصل الفراغ وحينئذ فلا يسرى الصوت في الفراغ

ولاجل نجاح التجربة يلزم وضع الجرس أو الساعة على حشو أى مسند من قطن كالوسادة لكيلا تنقل القطع المعدنية المكونة للجرس الصوت الى سطح الآلة المفرغة ومنه الى الهواء

ويمكن فعل هذه التجربة بكيفية بسيطة جدا بواسطة كرة من زجاج ذات حنفية محتوية على جرس صغير معلق في خيط فاذا كانت الكرة ملآنة بالهواء وحركت حتى لامسها الجرس سمع صوت متميز لكن بعد تخلخل الهواء المحتوية عليه بواسطة الآلة المفرغة لا يسمع شئ ابدا

(المبحث الخامس في سريان الصوت في الاجسام المرنة)

اذا أدخلنا في الناقوس أو الكرة بعد عمل الفراغ في التجربتين المتقدمتين غازا أو بخارا سمعنا صوت الجرس أو الساعة سماعا جيدا وكذا يدل على أن الصوت يسرى في الغازات والابخرة كما يسرى في الهواء ويسرى الصوت أيضا في السوائل وفي الواقع متى تصادم جسمان تحت الماء سمع تصادمهما متميزا وكذا الغواص الذى في قرار الماء يمكنه تمييز ما يقال على الشاطئ وأما الجوامد فتوصيل الصوت بها أشبه بدوى خفيف جدا فان زغب الريش مثلا اذا دلك به طرف قطعة من الخشب سمع الانسان صوت احتكاكهما من الطرف الثانى ومن الموصلات للصوت أيضا الارض فانك اذا وضعت الاذن عليها بالليل الهادئ سمعت صوت وقع أقدام الخيل وكل دوى آخر

(المبحث السادس في كيفية سريان الصوت في الهواء)

لاجل بسط نظرية سريان الصوت في الهواء نعتبر أولا سريانه في أنبوبة أسطوانية غير محدودة ولتكن حينئذ أنبوبة م ن شكل ٩٨

شكل ٩٨

ملاّنه بهواء فى ضغط ثابت وحرارة كذلك وفى هذه الانبوبة مكبس ب يتردّد بسرعة عظيمة من ا الى اَ فحتى مرّ المكبس من ا الى اَ ضغط الهواء الموجود فى الانبوبة وبسبب كثرة قبولية هذا السائل للانضغاط لا يحصل تكاثفه فى جميع طول الانبوبة بل فى جزء اَ ش من طولها فقط و يسمى ما تكاثف فى هذا الجزء بالموجة المتكاثفة وجميع أجزاء الموجة المتكاثفة ليست متساوية فى الكثافة ولا فى السرعة لان المكبس فى حركة ذهابه وايابه يتحرك بسرع متغايرة فتكون سرعته أوّلا معدومة فى ا وتزداد بالتدريج الى وسط جريته ثم تتناقص الى اَ التى تنعدم فيها الحركة ثانيا ومن هذا ينتج فى الموجة اَ ش تغير كثافة الهواء وسرعته تبعا لتغير سرعة المكبس ففى اَ التى فيها يكون المكبس ساكنا تنعدم سرعة الهواء و يعود الى كثافته الاصلية وفى ش التى تنتهى اليها الموجة تكون كثافة الهواء وسرعته عين كثافته وسرعته فى اَ لكن فى النقط المتوسطة بين اَ و ش تزداد هذه الكميات من ابتداء نقطة اَ الى الجزء المتوسط للموجة ثم تتناقص بعد ذلك الى نقطة ش

فاذا تصوّرنا أن الانبوبة م ن منقسمة الى أطوال كل منها مساو الى طول اَ ش وكل طول منقسم الى طبقات موازية للمكبس يظهر بالحساب أن الوقت الذى تسكن فيه الطبقة الاولى من الموجة اَ ش تبتدئ فيه الطبقة الاولى من جزء ش شَ بالتحرك ثم اذا سكنت الطبقة الثانية من الموجة اَ ش وصلت الحركة للطبقة الثانية من جزء ش شَ ولا تزال تنتقل الحركة من طبقة الى أخرى فى الاجزاء شَ شً وشً شٍّ وهلم جرا وحينئذ تتقدّم الموجة المتكاثفة فى الانبوبة مارّا كل من أجزائها على التوالى بدرجة واحدة من السرعة والكثافة ثم برجوع المكبس بعد ذلك على نفسه فى اتجاه اَ ا يحدث خلفه فراغ تتمدّد فيه طبقة الهواء الملامسة لوجهه الخلفى ثم بتمدّد الطبقة التالية لها ترجع الاولى الى حالة كثافتها الاصلية وهكذا من طبقة الى طبقة بحيث متى رجع المكبس الى نقطة ا تحدث موجة متمدّدة طولها كطول الموجة المتكاثفة وتابعة لها فى الانبوبة الاسطوانية المنتشرين فيها معا وتكتسب الطبقات المتناظرة فى كل من الموجتين سرعا متساوية ومتضادّة

وينشأ

وينشأ عن مجموع الموجة المتكاثفة والموجة المتخلخلة موجة رنانة مشتملة على الجزء المتنوع من عمود الهواء مدة ذهاب واياب المكبس وطول الموجة الرنانة هو ثخانة الموجة المتكاثفة والمتخلخلة المجتمعين أعنى المسافة التى يقطعها الصوت فى مدة الاهتزاز التام للجسم المولد لهذا الصوت ويكون هذا الطول قليلا كلما كان الاهتزاز سريعا

ثم ننتقل من نظرية حركة الموجات الرنانة فى الاسطوانة الى نظرية حركتها فى وسط غير محدود من جميع الجهات ويكفى لذلك تطبيق ما قلناه فى المكبس المتحرك فى الاسطوانة على كل جزء من الجسم المهتز وفى الحقيقة يحدث حول كل مركز من الاهتزاز جملة من الموج الكروى المتكاثف والمتخلخل على التعاقب وحيث ان هذا الموج منحصر بين سطحين متحدى المركز تزداد أنصاف أقطارهما بالتدريج مع بقاء طول الموج واحدا فتزداد كتلة الموج بمجرد تباعده عن مركز الاهتزاز وينتج من ذلك أن سرعة الاهتزاز الحادث فى أجزاء الهواء الحامل للصوت تضعف بالتدريج وتتناقص شدة الصوت حتى يتلاشى

وهذه الموجات الكروية المتكاثفة والمتخلخلة على التعاقب هى التى بانتشارها فى المسافة تنقل الصوت فاذا اهتزت عدة نقط فى زمن واحد حدث حول كل منها جملة موجات مشابهة للسابقة عليها وهذه الموجات ينتقل بعضها وسط البعض الآخر بدون تنوع فى طولها ولا فى سرعتها وتارة يتراكم جملة من الموج المتكاثف أو المتخلخل على جملة أخرى من جنسه بحيث ينتج عنهما نتيجة مساوية لمجموعهما وتارة تتقابل مع بعضها وتحدث نتيجة مساوية لتفاضلهما ويكفى لاجل صيرورة وجود الموجات معامشاهدا بالبصر رمى حصيات على سطح ماء راكد فى عدة نقط منه

(المبحث السابع فى الاسباب التى تغير شدة الصوت)

الاسباب التى تنوع شدة الصوت عديدة وهى بعد الجسم الرنان عن عضو السمع وسعة الاهتزازات وتكاثف الهواء فى المحل الذى يتولد فيه الصوت واتجاه تيار الهواء ومجاورة أجسام أخرى رنانة

الاول أن شدة الصوت تكون على حسب عكس مربع البعد من الجسم الرنان الى عضو السمع وهذا القانون الذى توصلوا اليه بالنظريات يمكن أيضا اثباته بالتجربة وفى الواقع اذا اختبرنا جملة أصوات متساوية فى الشدة متولدة عن أجراس متحدة تضرب

بمطارق متساوية الثقل ونازلة من ارتفاع واحد ووضعت أربعة من هذه الاجراس في بعد ٢٠ مترا من الاذن وواحد فقط في بعد ١٠ أمتار يشاهد أن هذا الجرس الاخير المضروب وحده يحدث صوتا شدته عين شدة الاربعة أجراس الاول المضروبة معا وهذا يثبت أن الشدة تنقص أربع مرات اذا ازدوجت المسافة

الثاني أن شدة الصوت تزداد مع ازدياد سعة اهتزازات الجسم الرنان ويثبت الارتباط الذي يوجد بين شدة الصوت وسعة الاهتزازات بسهولة بواسطة الاوتار المهتزة وفي الواقع اذا كانت الاوتار طويلة قليلا كانت اهتزازاتها مشاهدة بالبصر ويتحقق ضعف الصوت بتناقص سعة الاهتزازات

الثالث أن شدة الصوت تتعلق بكثافة الهواء في المحل الذي يتولد فيه الصوت والدليل على ذلك أنه اذا وضع تحت ناقوس الآلة المفرغة جهاز دقاق يتحرك بحركة تشبه حركة الساعات الدقاقة سمع تناقص شدة الصوت بمجرد تخلخل الهواء ففي الايدروجين الذي كثافته أقل من كثافة الهواء ١٤ مرة تقريبا تكون شدة الصوت أضعف منها في الهواء بكثير ولو أن الضغط واحد وفي حمض الكربونيك الذي كثافته بالنسبة للهواء ١,٥٢٩ يكون الصوت أكثر شدة ويلزم التكلم بقوة على الجبال الشامخة التي يكون عليها الهواء كثير التخلخل حتى يسمع الصوت وطلقة الاسلحة النارية لا تحدث عليها الا صوتا ضعيفا

الرابع أن شدة الصوت تتنوع باضطراب الهواء واتجاه الرياح ويتحقق ذلك بكون الصوت ينتشر دائما في وقت الهدو أي سكون الريح بانتظام عما اذا كان في وقت هبوبه وأن في وقت هبوب الريح يكون الصوت أشد على البعد الواحد في اتجاه الريح مما في الاتجاه المضاد

الخامس أن الصوت يقوى بمجاورة جسم رنان والدليل على ذلك أن وتر الآلة الموتر في الهواء المطلق لا يحدث الا صوتا ضعيفا متى اهتز بعيدا عن جسم رنان واذا وتر على صندوق رنان كما في القيثار وهي آلة ذات خمسة أوتار والكمنجا الغليظة والعود حدث عنه صوت شبعان أي غليظ شديد وينسب ذلك لاهتزاز الصندوق والهواء المنحصر فيه مع الوتر ومن ذلك استعملت الصناديق الرنانة للآلات ذوات الاوتار ولاجل بيان تأثير الصناديق الممتلئة بالهواء في تقوية الصوت أنشأ ساورت الجهاز الموضح في شكل ٩٩

وهو



وهواناء من نحاس نصف كرة يهتز بواسطة قوس قوى التوتير وبالقرب منه اسطوانة مجوفة مصنوعة من المقوى مفتوحة الطرف المقدم ومسدودة الطرف المؤخر تدور بالارادة على حامل مثبت على قطعة تنزلق فى قاعدة الجهاز بدون عائق بحيث يمكن تبعيد الاسطوانة عن الاناء وتقريبها على حسب الارادة فاذا نظم الجهاز كما هو مبين فى الشكل المذكور وهز قوى الصوت الحادث عنه لكنه يكاد أن يفقد جميع شدته اذا دورت الاسطوانة و يضعف بالتدريج اذا أخرت وهذا يثبت أن تقوية الصوت ناشئة عن اهتزاز الهواء المحصور فى الاسطوانة

(المبحث الثامن فى تأثير الانابيب على شدة الصوت)

القانون المتقدم الذى قيل فيه ان شدة الصوت تكون على حسب عكس مربع البعد لا يوافق الاصوات المنقولة بواسطة الانابيب خصوصا اذا كانت اسطوانية معتدلة حيث ان الموجات الرنانة لا تنتشر حينئذ على شكل كرات متزائدة متحدة المركز و يمكن انتقال الصوت بواسطة الانابيب الى بعد عظيم بدون أن يتغير تغيرا ظاهرا

وقد أثبت بيوث أن الصوت لا يفقد الا قليلا جدا من شدته فى أنبوبة من أنابيب توصيل المياه بباريس طولها ٩٥١ مترا وأن المحادثة من أحد طرفى هذه الانبوبة يمكن سماعها من الطرف الآخر بصوت منخفض لكن اذا كانت أقطار الانابيب كبيرة أو كانت جدرانها ذات اعوجاج ظهر ضعف الصوت فيها وهذا ما يشاهد فى الكهوف والمغارات والمماشى الطويلة ذات التعاريج ونحوها

وخاصية نقل الاصوات بعيدا بالانابيب استعملت أولا فى انكلتره فان أنابيب التكلم كانت معدة فيها لنقل الاوامر فى المضايف والتنظيمات الكبيرة

وهى أنابيب متخذة من الصمغ المرن قطرها صغير تمر بالحيطان من قاعة الى أخرى فاذا تكلم الانسان بصوت مرتفع ارتفاعا قليلا واضعا فمه على أحد طرفى الانبوبة سمع من الطرف الآخر كلامه متميزا ظاهرا

وعلى حسب تجارب بيوث يكون من الواضح امكان نقل الاصوات القوية والمراسلة من مدينة الى أخرى بواسطة الانابيب المذكورة وحيث ان متوسطة سرعة الصوت فى الثانية الواحدة ٣٣٧ مترا فانه يقطع مسافة ٨٠ كيلومتر فى مدة أربع دقائق

(المبحث التاسع فى سرعة الصوت فى الغازات)

حيث ان انتشار الموجات الرنانة متتال فلا ينتقل الصوت من محل الى آخر الا فى مدة اما طويلة أو قصيرة كما يتضح من عدة ظواهر فان قرقعة الصاعقة مثلا لا تسمع الا بعد مضى بعض زمن من رؤية البرق مع أن الصوت والبرق ينشا آن فى السحاب معا

وقد فعلت تجارب عديدة لتعيين سرعة الصوت فى الهواء أعنى المسافة التى يقطعها فى الثانية الواحدة وآخر تجربة فعلت كانت فى زمن الصيف سنة ١٨٢٢ مدة الليل فعلتها جمعية الاطوال أى قياس المسافات وذلك أنهم انتخبوا محلين مرتفعين أحدهما فى ويل جويف والثانى فى مونتلرى بالقرب من باريس وجعلوهما مرصدين وكان يطلق فى كل عشر دقائق مدفع من كل مرصد

فأما الراصدون الكائنون بمرصد ويل جويف فانهم سمعوا الثنتى عشرة طلقة الخارجة من مونتلرى سماعا متميزا جدا وأما الراصدون الكائنون بمرصد مونتلرى فلم يسمعوا الا سبع طلقات من الثنتى عشرة طلقة الخارجة من ويل جويف وذلك لان اتجاه الريح كان مضادا وكان راصدوا كل مرصد يكتبون بواسطة الكرونومتر وهى آلة لقياس

الزمن

الزمن لضبط الزمن الذى يمضى بين رؤية البرق وسماع الصوت وهو الزمن الذى استغرقه الصوت فى انتقاله من مرصد الى آخر

ومن حيث ان المسافة التى بين المرصدين لا تبلغ الا ١٨٦١٢,٥٢ مترا وان الضوء يقطع هذه المسافة فى زمن لا يمكن تقديره كما هو مقرر فى باب الضوء ووجدوا أن المدة المتوسطة لسريان الصوت من مرصد الى آخر ٥٤,٦ ثانية فبقسمة المسافة الكائنة بين المرصدين على هذا العدد تكون سرعة الصوت فى الثانية الواحدة ٣٤٠,٨٩ مترا فى درجة ١٦ مائينية التى هى درجة حرارة الجو مدة التجربة

وتتناقص سرعة الصوت فى الهواء مع تناقص درجة حرارته ففى درجة ١٠ + لا تبلغ سرعة الصوت الا ٣٣٧ مترا وفى درجة الصفر لا تبلغ الا ٣٣٣ مترا غير أن سرعة الصوت فى درجة حرارة واحدة لا تكون متعلقة بكثافة الهواء ولا بالضغط فتكون السرعة المذكورة فى الدرجة المتساوية واحدة لجميع الاصوات سواء كانت هذه الاصوات قوية أو ضعيفة غليظة أو حادة وفى الواقع قد أثبت بيوت بالتجارب المتقدمة المتعلقة بتوصيل الانابيب أنه اذا نفخ انسان فى مزمار مركب فى طرف أنبوبة من الحديد الزهر طولها ٩٥١ مترا حفظ الصوت مقداره فى الطرف الثانى وهذا يدل على أن الاصوات المختلفة تسرى بسرع متساوية

ومع ذلك فهذا لا يشمل الاصوات المختلفة الاصل كدوى المدفع مثلا وكصوت ناشئ عن تحرك آلة أو الصوت الانسانى لانه ثبت من التجارب أن الصوت المتولد بقوة شديدة كدوى المدفع يكون سريانه أكثر سرعة

وسرعة الصوت تختلف باختلاف الغازات ولو تساوت فى درجة الحرارة فقد وجد دولنغ بواسطة الحساب على الانابيب الرنانة أن سرعة الصوت فى الغازات الآتية فى درجة الصفر تكون

فى حمض الكربونيك	٢٦١	مترا
فى غاز الاوكسيجين	٣١٧	مترا
فى الهواء الجوى	٣٣٣	مترا
فى أوكسيد الكربون	٣٣٧	مترا
فى الايدروجين	١٢٦٩	مترا

(المبحث العاشر في سرعة الصوت في الموائع والجوامد)

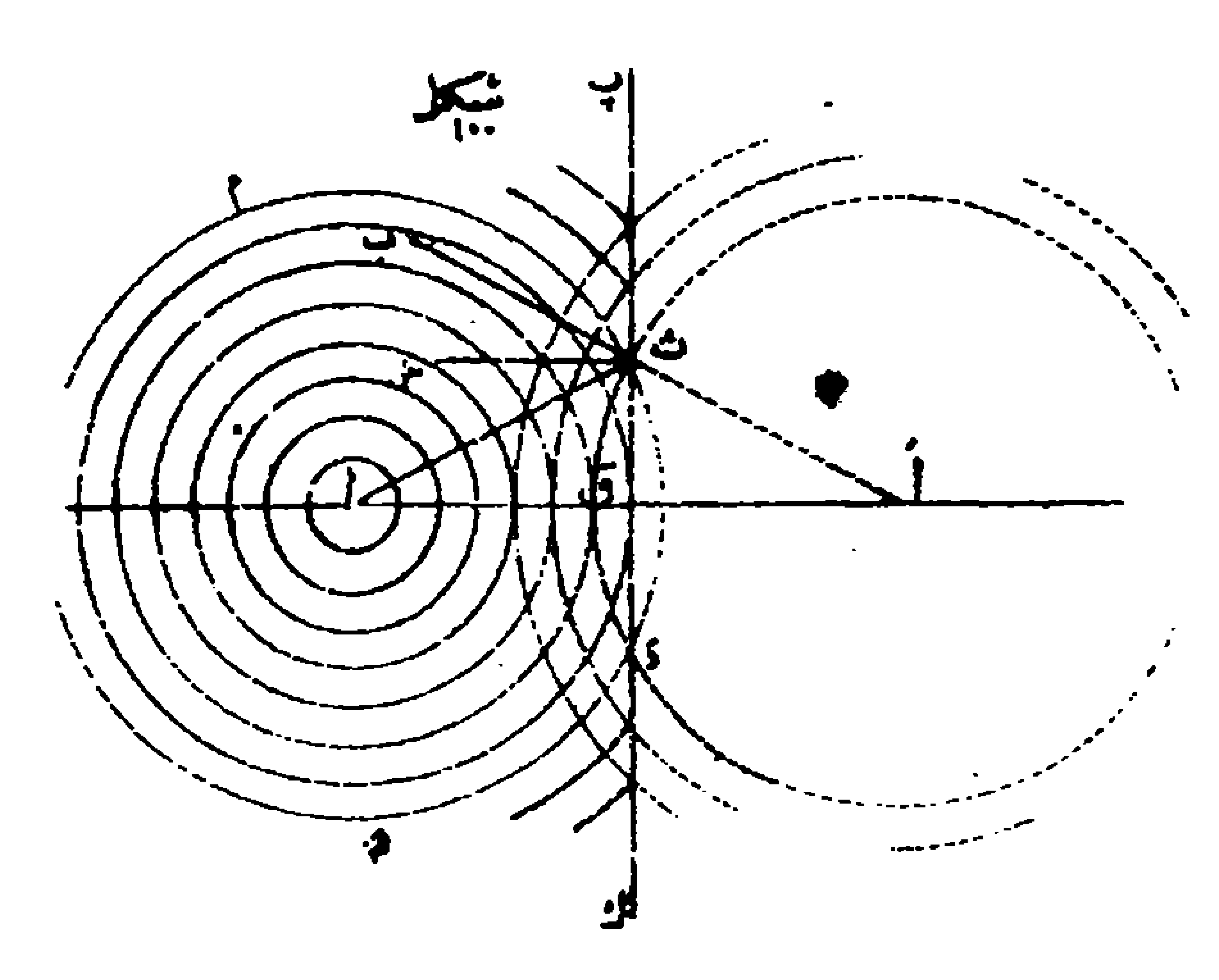
سرعة الصوت في الموائع أعظم من سرعته في الهواء بكثير فقد وجد كل من كولادون وستورم بالتجارب التي فعلت سنة ١٨٢٧ على بحيرة جنوه أن سرعة الصوت في الماء بلغت في الثانية الواحدة ١٤٣٥ مترا في درجة ١,٨+ وهذا يزيد عن أربعة أمثال سرعته في الهواء

وسرعته في الجوامد تزيد أيضا عن سرعته في الهواء فقد وجد بيوت بتجربة فعلها على الانابيب المتخذة من الحديد الزهر المعدة لتوصيل الماء أن الصوت يسري في الحديد الزهر أسرع من سريانه في الهواء بعشر مرات ونصف

وعين سرعة الصوت في بقية الجوامد كل من كلادني وساورت وماسون وغيرهم بوجه نظري مستندين في ذلك اما على عدد الاهتزازات الطولية أو العرضية للاجسام أو على مكر رجرونتها وقد وجد كلادني أن سرعة الصوت في أنواع الاخشاب المختلفة تزيد عن سرعته في الهواء ١٠ مرات الى ١٦ مرة وأنها كثيرة الاختلاف في المعادن وتزيد عن سرعته في الهواء من ٤ مرات الى ١٦ مرة

(المبحث الحادي عشر في انعكاس الصوت)

متى لم يعارض الموجات الرنانة معارض في انتشارها انتشرت على شكل كرات متحدة المركز أما اذا عارضها معارض فانها تتبع القانون العام للاجسام المرنة أعني أنها ترجع ثانيا على نفسها مكونة لموجات جديدة ذات مركز واحد تظهر كأنها ناشئة من مركز ثان كائن في الجهة الثانية من المعارض وهذا ما يعبر عنه بالموج المنعكس وشكل ١٠٠



يوضح

وضع جملة موجات ساقطة ومنعكسة على المعارض ب ك

فاذا اعتبرنا الموجة الساقطة م ث د ن خارجة من مركز ا كانت الموجة المنعكسة المناسبة لها مبينة بقوس ث ق د الذى مركزه التقديرى نقطة اَ والخط المستقيم ا ث الذى على حسبه ينتشر الصوت من نقطة ا الى ث شعاعا صوتيا

فاذا مد من نقطة ث عمود ث ش على السطح العاكس سميت زاوية ا ث ش التى كونها الشعاع الصوتى مع هذا العمود زاوية السقوط وزاوية ب ث ش التى كونها الشعاع الصوتى المنعكس ب ث مع نفس العمود زاوية الانعكاس

اذا تقرر ذلك فاعلم أن انعكاس الصوت منقاد للقانونين الآتيين اللذين هما عين قانونى انعكاس الحرارة والضوء

القانون الاول أن زاوية الانعكاس تساوى زاوية السقوط

القانون الثانى أن الشعاع الصوتى الساقط والمنعكس يكونان فى مستو واحد عمودى على السطح العاكس

وعلى مقتضى هذين القانونين فالموجة المنتشرة فى الشكل المذكور على حسب خط ا ث تأخذ بعد الانعكاس اتجاه ث ب بحيث ان الراصد الكائن فى ب يسمع خلاف الصوت الخارج من نقطة ا صوتا ثانيا يظهر له أنه آت من اتجاه ث ب

(المبحث الثانى عشر فى الصدى والرنة)

الصدى هو رد الصوت فى الهواء بواسطة انعكاسه من بعض المعارضات والصوت القصير جدا كالصدمة يمكنه احداث الصدى متى كان المعارض العاكس على بعد ١٧ مترا أقل ما هناك وهذا هو الحد المقول به لجميع الاصوات لكن الاصوات المفصلة المقاطع يلزم لها مسافة مزدوجة أعنى ٣٤ مترا وفى الواقع يسهل اثبات أنه لا يمكن التلفظ متميزا بأكثر من خمس مقاطع أو السماع كذلك فى الثانية الواحدة وحيث ان الصوت يقطع فى الثانية الواحدة ٣٤٠ مترا فينتج من ذلك أنه يقطع فى خمس الثانية ٦٨ مترا وبناء على ذلك اذا كان المعارض العاكس على بعد ٣٤ مترا فالصوت يقطع فى ذهابه الى المعارض وايابه ٦٨ مترا بالاقل ويكون الزمن الماضى بين الصوت الاصلى والصوت

المنعكس خمس ثانية وحينئذ فلا يختلط الصوتان ببعضهما ويصير الصوت المنعكس مسموعا سماعا واضحا ويتتج مما ذكر أنه اذا تكلم انسان بصوت مرتفع أمام عاكس بعده عنه ٣٤ مترا فلا يمكنه أن يميز الا المقطع الاخير المنعكس ويكون الصدى حينئذ ذا مقطع واحد فان كان بعد العاكس عن المتكلم ضعف ٣٤ مترا أو ثلاثة أمثالها وهكذا كان الصدى ذا مقطعين أو ثلاثة وهكذا ومتى كان بعد السطح العاكس أقل من ٣٤ مترا اختلط الصوت الاصلي بالصوت المنعكس ولا يمكن حينئذ سماع كل منهما على حدته بل يقوى الصوت ويحدث ما يعبر عنه بالرنة وهذا ما يشاهد في البيوت الكبيرة وتكون قاعاتها العارية أكثر دويا بخلاف المفروشة بالبسط والجوخ التي تعكس الصوت انعكاسا رديئا فانها تجعل البيت أصم والصدى المضاعف هو رد الصوت جملة مرار ويحصل ذلك متى كان هناك معارضان موضوع أحدهما تجاه الآخر كحائطين متوازيين مثلا فانهما يردان الصوت بالتعاقب ويوجد من أنواع الصدى ما يتكرر فيه رد الصوت الواحد عشرين أو ثلاثين مرة كما يقع في برج سيمونيتا في ايطاليا

وحيث كانت قوانين انعكاس الصوت عين قوانين انعكاس الضوء والحرارة فالاسطح المنحنية يتولد عنها بورة سمعية مشابهة للبورة الضوئية والحرارية التي تحدث أمام المرآة المقعرة العاكسة فاذا تكلم انسان مثلا تحت قبوة قنطرة من حجر وكان وجهه متجها جهة أحد الكتفين أمكن تولد صوت آخر قريبا من الكتف الثاني بشدة عظيمة بحيث تمكن المحادثة بصوت منخفض بدون أن يسمعه أحد الحاضرين الكائنين في الوسط بين المتحادثين ويوجد في محل حفظ الفنون والصنائع بباريس قاعة مربعة ذات قبوة مقوصرة تظهر فيها هذه الحادثة ظهورا واضحا متى وقف شخصان في بورتي القوصرة

ومما ينبغي التنبيه عليه أن الصوت لا ينعكس من أسطح الاجسام الصلبة فقط كحوائط البناء والاخشاب والصخور بل ينعكس أيضا من السحب ومن مقابلته لطبقة من الهواء كثافتها مخالفة لكثافة الطبقة القاطع لها ومن أجزاء الضباب أيضا وفي الواقع يشاهد أنه اذا كان الهواء ذا ضباب انعكست الاصوات انعكاسا جزئيا وانعدمت بسرعة وفي الليل يمكن سماع الاصوات من بعد عظيم متى كان الهواء صافيا هادئا منتظم الكثافة

(المبحث الثالث عشر في انكسار الصوت)

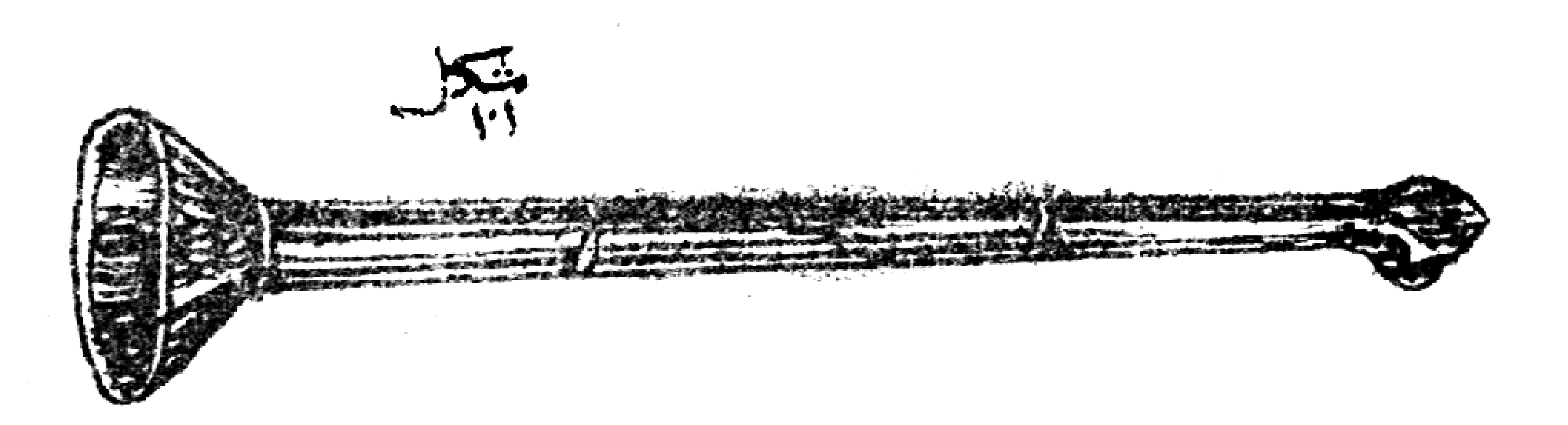
أثبت المعلم سوندون فى الالمانيا أن الموجات الصوتية تنكسر كالحرارة والضوء بأن صنع عدسات غازية أعنى أنه ملأ غلافات غشائية كروية الشكل أو عدسية بحمض الكربونيك

فأما غلافات الورق والامعاء فلا يكون انكسار الصوت بها محسوسا لكن بغلاف من الكلوديوم تنجح العملية جيدا فقسم المعلم المذكور كرة كبيرة من الكلوديوم قسمين متساويين وثبتهما على سطحى حلقة من الصفيح قطرها ٣١ سنتيمترا بحيث تتكون عدسة محدبة مجوفة عمقها من المركز ١٢ سنتيمترا تقريبا ثم ملأها بحمض الكربونيك ثم وضع ساعة معتادة فى اتجاه محورها ثم بحث من الجهة الاخرى للعدسة عن النقطة التى يسمع فيها صوت الساعة بشدة فشاهد أنه كلما بعدت الاذن عن المحور كان الصوت عسر الادراك لكن متى كانت على المحور فى بعد مناسب من العدسة سمع الصوت متميزا جيدا وحينئذ فعند خروج الموجات الصوتية من العدسة تأتى وتجتمع جهة المحور وهذا يثبت أنها غيرت اتجاهها وبناء على ذلك قد انكسرت

(المبحث الرابع عشر فى مرسلة الصوت والقرين السمعى)

مرسلة الصوت والقرين السمعى آلتان صغيرتان مؤسستان على تقوية الصوت وتوصيله بالانابيب

أما مرسلة الصوت فانها كما يدل عليه اسمها معدة لنقل الصوت الى أبعاد عظيمة وهى أنبوبة من تنك أو من نحاس أصفر كما فى شكل ١٠١



تكاد أن تكون مخروطية الشكل ومتسعة جدا من أحد طرفيها المسمى بالصيوان وهذه الآلة بالنفخ فى طرفها الآخر ترسل الصوت الى بعد عظيم مناسب لعظم ابعادها وفسرت ظاهرة الارسال بانعكاسات متوالية للموجات الرنانة على جدران الانبوبة وبموجب هذه الانعكاسات يتباعد الموج شيئا فشيئا تابعا الاتجاه موازا لمحور الآلة

ونوزع فى هذه النظرية لان الاصوات الخارجة من وسط هذه الآلة لاتقوى فى اتجاه محورها فقط بل فى جميع الجهات

وأما القرن السمعى فانه يستعمل لضعفاء السمع وهو أنبوبة معدنية مخروطية الشكل يوضع طرفها الضيق فى الصماخ وطرفها الثانى الشبيه بالصيوان معدّ لتلقى الاصوات أعنى أنه يتلقى الاصوات الصادرة من فم المتكلم ويتنقل الصوت بجملة انعكاسات فى داخل القرن بحيث ان الموج الذى يمكنه أن ينتشر انتشارا عظيما يتركز فى الجهاز السمعى ويحدث فيه تأثيرا أعظم من الذى يصدر عن الموج مباشرة

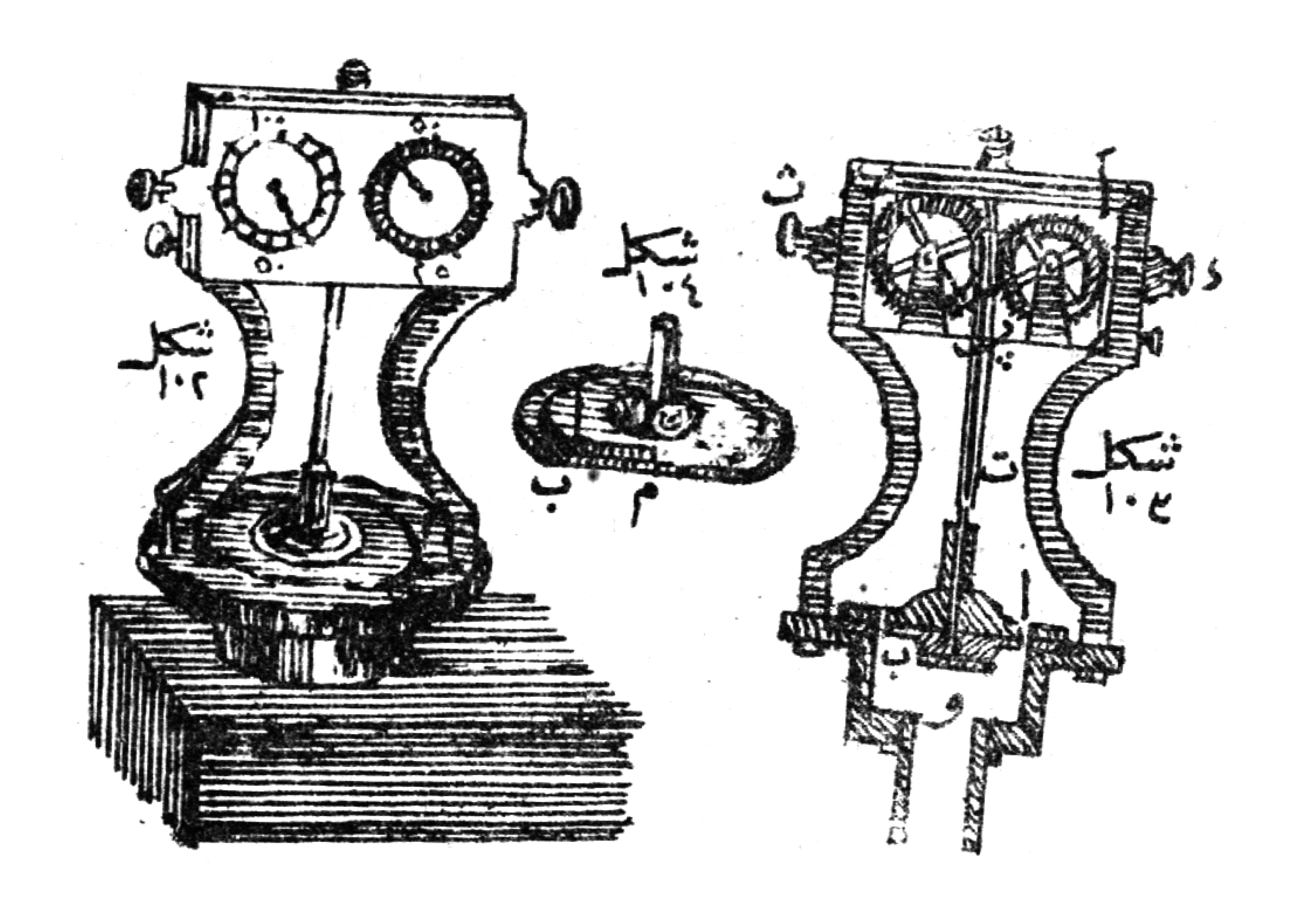
(الفصل الثانى فى قياس أى تقدير عدد الاهتزازات وفيه مباحث)

اخترعت جملة طرق لتقدير عدد اهتزازات الاجسام الرنانة الاولى طريقة السماع المشتملة على بنت الماء وعجلة ساورت الثانية طريقة الرسم المشتملة على جهاز دوهاميل والفونوتوجراف المنسوب الى سكوت الثالثة طريقة الابصار المنسوبة الى ليساجوس الرابعة اللهب المانومتريكى المنسوب الى كينيك ونكتفى فى هذا المختصر بذكر بنت الماء وطريقة الرسم ومن أراد الاطلاع على باقى الطرق فعليه بالمطوّلات

(المبحث الاوّل فى بنت الماء)

بنت الماء جهاز صغير يستعمل لتقدير عدد اهتزازات الجسم الرنان فى زمن معلوم وقد أطلق مخترعها هذا الاسم عليها لانه يحدث عنها أصوات تحت الماء وشكل ١٠٢ يبين بنت الماء موضوعة على صندوق الكبير وشكلا ١٠٣ و ١٠٤ يبينان تفاصيلها الباطنية ففى الجزء السفلى من هذه الآلة المتخذة من النحاس علبة اسطوانية و مغطاة بصينية ثابتة ب مرتكز عليها ساق رأسى ت مثبت عليه قرص ا الذى يدور بلا عائق بدوران الساق ومصنوع فى صينية ب ثقوب مستديرة على أبعاد متساوية و يوجد فى قرص ا عدد من الثقوب مساو لما فى الصينية ومثلها فى السعة والبعد من المركز وهذه الثقوب ليست عمودية على سطحى الصينية والقرص بل جميعها مائل بمقدار واحد فى الصينية والقرص ويكون اتجاهها فى القرص مخالفا لاتجاهها فى الصينية بحيث متى تحاذت ثقوب القرص مع ثقوب الصينية كانت مرتبة كما يظهر من شكل ١٠٤

الذى



الذى يرى قطاع قرصى ا و ب على حسب الثقبين الباطنين عند تحاذيهما وينتج من هذا الوضع أنه متى وصل تيار سريع من الهواء بواسطة المنفاخ فى العلبة الاسطوانية وفى ثقب م فرع بانحراف جدران ثقب ه وأحدث فى قرص ا حركة دوران فى اتجاه ا ه

ولاجل ايضاح سرعة تحرك بنت الماء نفرض أوّلا أن القرص المتحرك ا فيه ١٨ ثقبا والصينية الثابتة ب ليس فيها الا ثقب واحد وقد انطبق على أحد الثقوب العليا فاذا دق هواء المنفاخ جدران هذا الثقب الاخير دقا ما ثلا دار القرص المتحرك وسد الجزء المصمت الكائن بين كل ثقبين متواليين ثقب الصينية السفلى لكن باستمرار القرص على التحرك بالنظر لسرعته المكتسبة يتحاذى ثقبان آخران وينشأ عن ذلك حركة جديدة وهكذا وبهذه الكيفية ينفتح الثقب السفلى ١٨ مرة وينغلق كذلك مدة دوران القرص دورة كاملة وينتج عن ذلك عدة حركات وسكنات توجب اهتزاز الهواء وتحدث الصوت متى كانت الحركات المتوالية سريعة جدا واذا فرض أن الصينية الثابتة ب فيها ١٨ ثقبا كالقرص المتحرك حدث عن كل ثقب منها ما يحدث عن الثقب الواحد ويصير الصوت حينئذ أشد وأقوى ثمانى عشرة مرة لكن لا يزداد عدد الاهتزازات

ولاجل معرفة عدد الاهتزازات الموافقة لصوت صادر عن الآلة مدة حركة دورانها يلزم معرفة مقدار عدد دوران قرص ا في الثانية ولاجل ذلك يوضع على الساق ت برمة تنقل الحركة الى طارة أ ذات ١٠٠ سنة وهذه الطارة التى تتقدم بسنة واحدة فى كل دورة من دورات القرص تحمل وتد ب الذى يقدم فى كل دورة لهذه الطارة سنة واحدة من طارة ثانية ب تشاهد مكبرة فى شكل ١٠٣ وكل من محورهاتين الطارتين يحرك عقربا على وجه ساعة مبين فى شكل ١٠٢ وهذان العقربان يبين أحدهما عدد دورات القرص ا والآخر مئات الدورات وفائدة زرى ء ث تقديم الطارة الصغيرة أو تأخيرها عن البرمة بحسب الارادة وحيث ان الصوت يرتفع كلما زادت حركة القرص ا فيكفى تقوية هواء المنفاخ ليتوصل الى احداث صوت محدود فى الآلة ويستمر حينئذ نفس تيار الهواء زمنا معينا كعشرين دقيقة مثلا ثم يقرأ على وجهى الساعة عدد الدورات التى دارها القرص ويضرب هذا العدد فى ١٨ وقسمة الناتج على عدد الثوانى وهو ٢٠ يدل خارج القسمة على عدد الاهتزازات المزدوجة فى الثانية

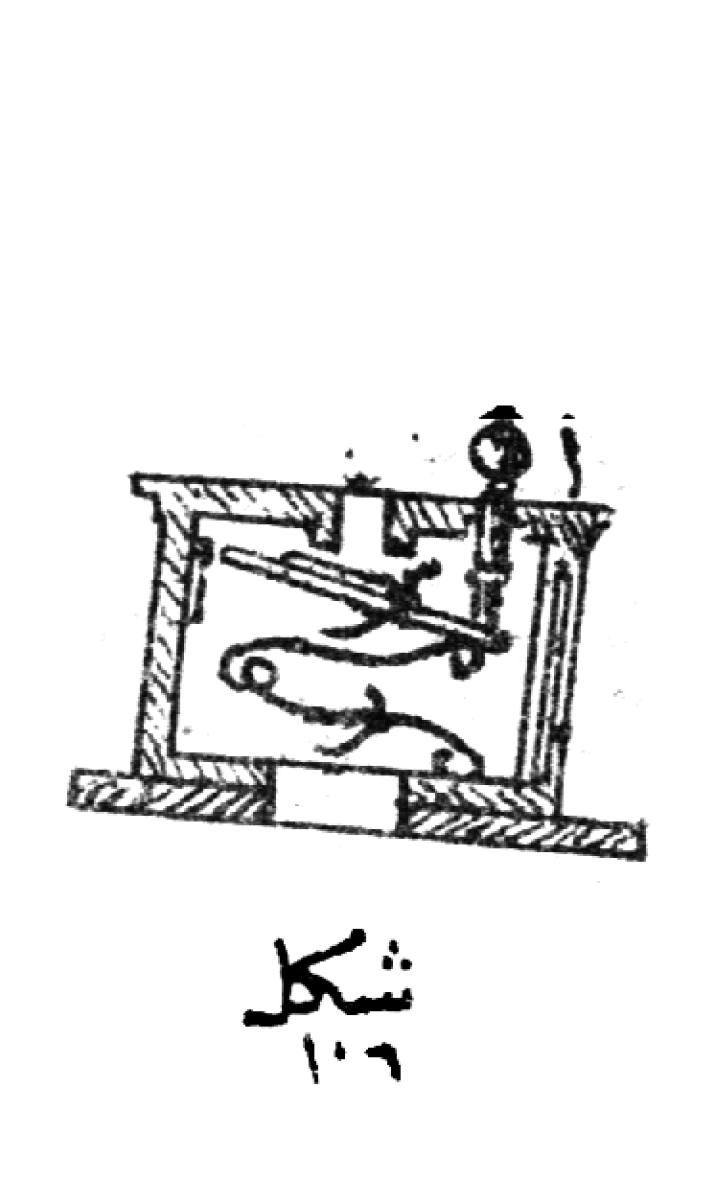
ويمثل هذه السرعة تحدث بنت الماء صوتا فى الماء عين الصوت الذى تحدثه فى الهواء ويحدث كذلك من جميع الغازات وهذا يدل على أن الصوت المحدود يتعلق بعدد الاهتزازات لا بطبيعة الجسم الرنان

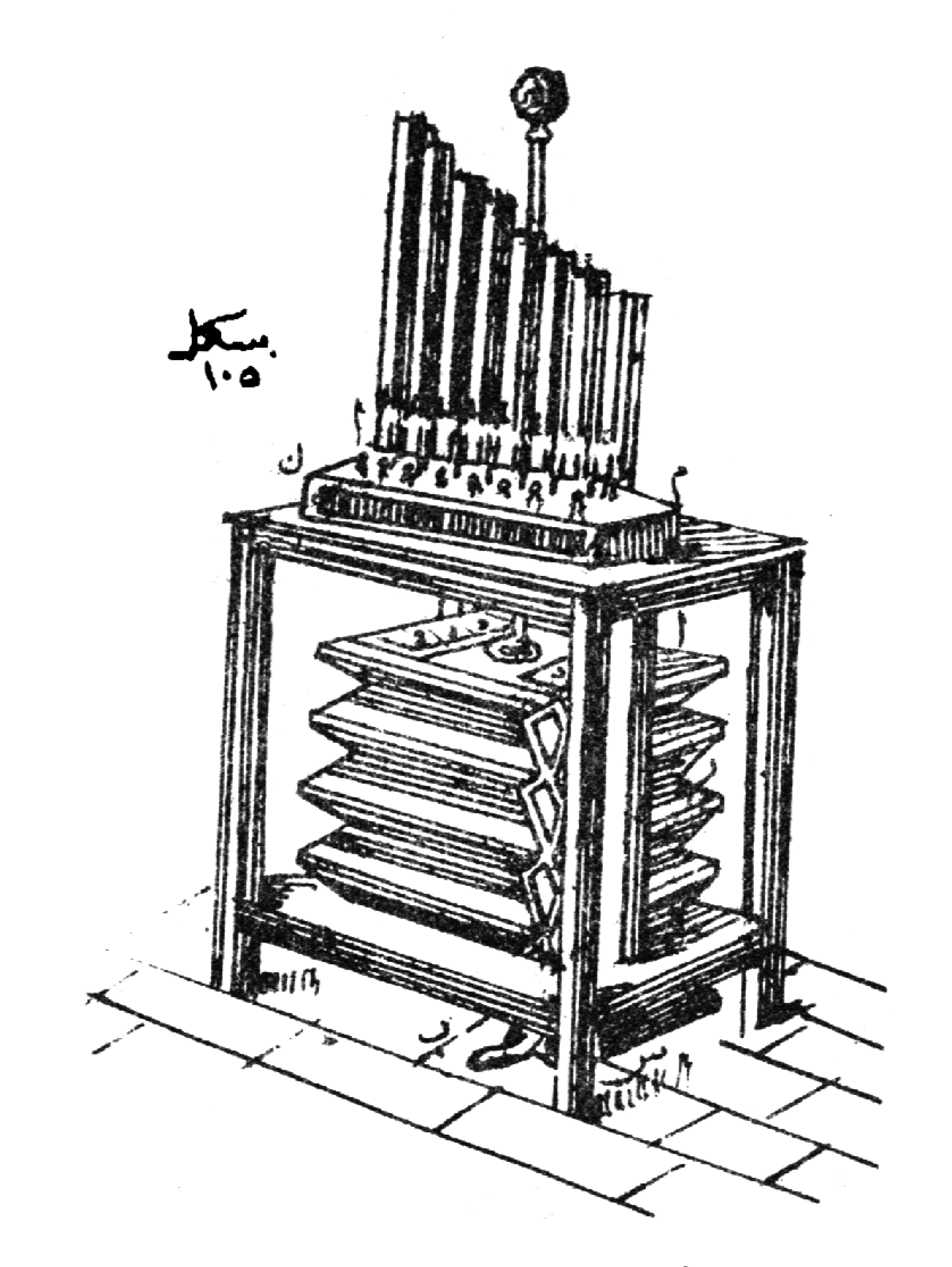
(المبحث الثانى فى الكبير)

الكبير آلة تستعمل لتوليد الصوت فى الانابيب ويتركب من منفاخ متين س موضوع بين أربع قوائم طاولة من خشب يتحرك بالرجل بواسطة قطعة من الخشب ب شكل ١٠٥

والهواء المدفوع بالمنفاخ يتجمع فى مستودع من الجلد ر كثير الليونة ينتفخ بمجرد وصول الهواء اليه ثم بانضغاط الهواء بواسطة صفيحتين من الرصاص يثقلان على المستودع يمر الهواء من انبوبة ا فى صندوق من الموضوع على الطاولة ومنه يتوزع فى الانابيب المختلفة الموضوعة هى عليه ولاجل ذلك تكون الثقوب التى توضع فيها الانابيب مغلقة بصمامات س شكل ١٠٦

تمنع


شكل ١٠٦

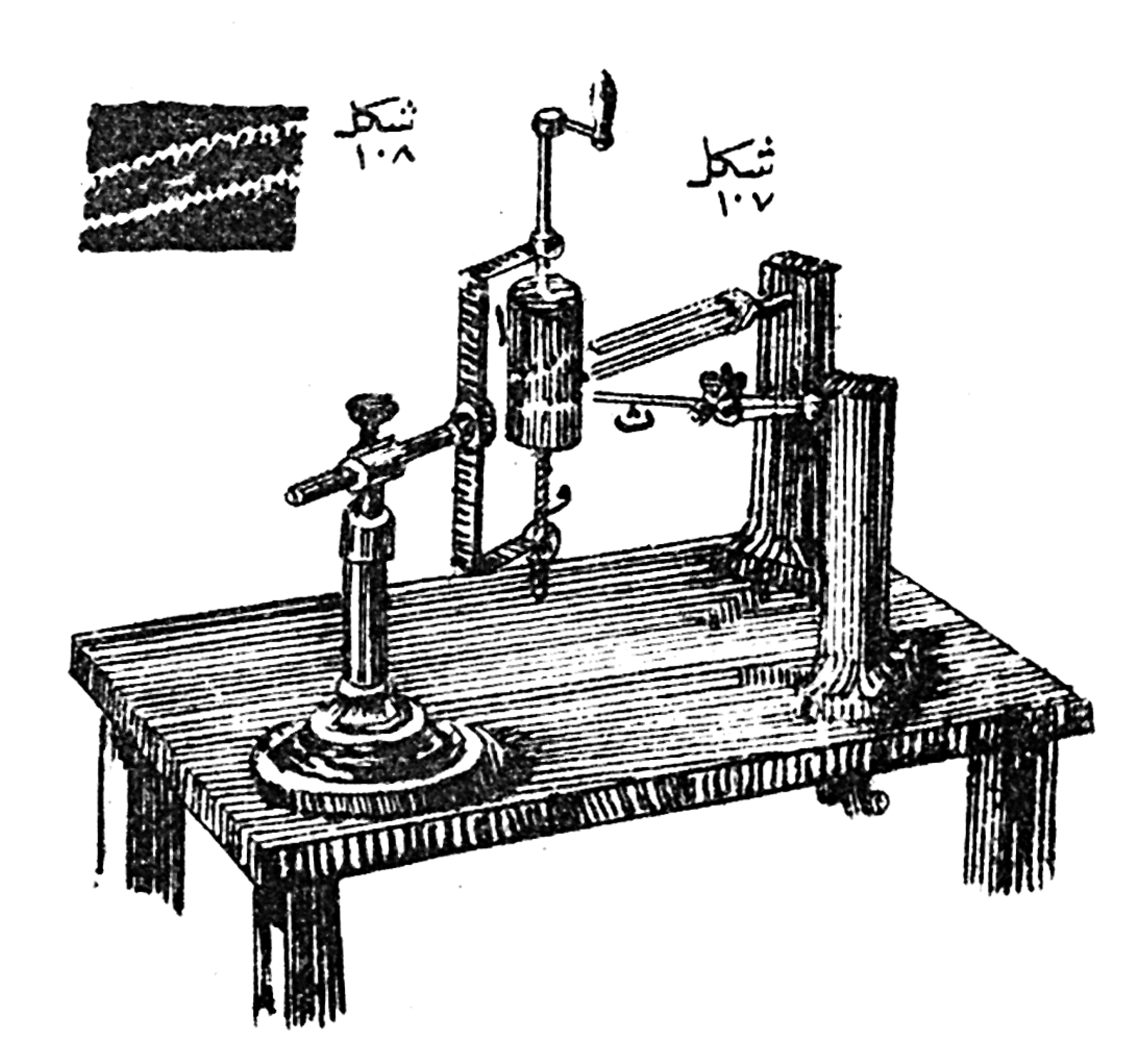

شكل ١٠٥

تمنع مرور الهواء لكن أمام كل أنبوبة قطعة من الابنوس أو العاج ا تفتح الصمام بمجرد الاتكاء عليها باليد فيمر الهواء وأسفل الصمام زنبلك من سلك حديد ر يرفعه بمجرد انقطاع الاتكاء على القطعة الابنوس

(المبحث الثالث في طريقة الرسم)

يصعب باستعمال بنت الماء أو عجلة ساورت تعيين الاهتزازات بالضبط المقابلة لصوت معلوم لانه يلزم صيرورتها متحدة مع هذا الصوت أى موافقة له وهذا يستدعى أذنا متعوّدة وطريقة الرسم المنسوبة الى ويبيرليس فيها تلك الصعوبة وغايتها أن يثبت على جسم رنان قلم خفيف يرسم اهتزازاته على سطح معدّ لذلك والجهاز الآتى الذى اخترعه دوهاميل يتركب من أسطوانة ا من الخشب أو من معدن مثبتة فى محور رأسى و كما فى شكل ١٠٧

وهذا المحور يدور بواسطة ذراع وبدوران الجهاز فى جهة أو فى أخرى يكتسب حركة من أعلى الى أسفل أو من أسفل الى أعلى بواسطة خطى برمة كائنة على نفس المحور ومارّة فى أنثى البرمة وملفوف حوالى الاسطوانة فرخ من الورق عليه طبقة خفيفة من النيلج غير ملتصقة به عليها ترتسم الاهتزازات ولاجل ذلك فليكن الجسم الرنان مثلا صفيحة مرنة ث مثبتة من أحد طرفيها تثبيتا قويا ويثبت فى طرفها الآخر قلم خفيف يلامس سطح الاسطوانة مدّة دورانها فاذا دارت الاسطوانة بدون أن تهتز الصفيحة رسم القلم بالابيض على الطبقة السوداء رسما حلزونيا منتظما لكن اذا اهتزت الصفيحة كان الرسم متموّجا ويكون التموّج كثيرا كلما كثر اهتزاز الصفيحة ولم يبق الا تعيين زمن الاهتزازات ويمكن الوصول اليه بجملة كيفيات أبسطها مقابلة الانحناآت المرسومة بالصفيحة المهتزة بالانحناآت المرسومة بالآلة المعروفة بالديابازون التى تعطى فى الثانية الواحدة عددا معلوما من الاهتزازات (٥٠٠ مثلا) وحيث ان أحد طرفى الديابازون متصل أيضا بقلم خفيف فيجعل هذا القلم ملامسا للنيلج ثم تهتز الصفيحة والديابازون فى آن واحد فيرسم القلمان حينئذ حلزونين متموّجين لكنهما غير متساويين فاذا بسط الفرخ الورق كما فى شكل ١٠٨



وقوبل عدد الاهتزازات المتناسبة على الانحنائين يستنتج بسهولة عدد اهتزاز الصفيحة فى الثانية الواحدة ولنفرض مثلا أن ١٥٠ هزة للديا پازون تقابل ١٦٥ هزة للصفيحة وحيث ان كل هزة من الديا پازون مفروضة $\frac{١}{٥٠٠}$ من ثانية فالمائة والخمسون هزة تقابل $\frac{١٥٠}{٥٠٠}$ من ثانية ويكون حينئذ فى $\frac{١٥٠}{٥٠٠}$ من ثانية قد فعلت الصفيحة ١٦٥ هزة وبناء على ذلك فى $\frac{١}{٥٠٠}$ من ثانية تفعل الصفيحة $\frac{١٦٥}{١٥٠}$ وفى الثانية الواحدة $\frac{٥٠٠ \times ١٦٥}{١٥٠}$ أو ٥٥٠

(الفصل الثالث فى اهتزاز الأوتار وفيه مباحث)

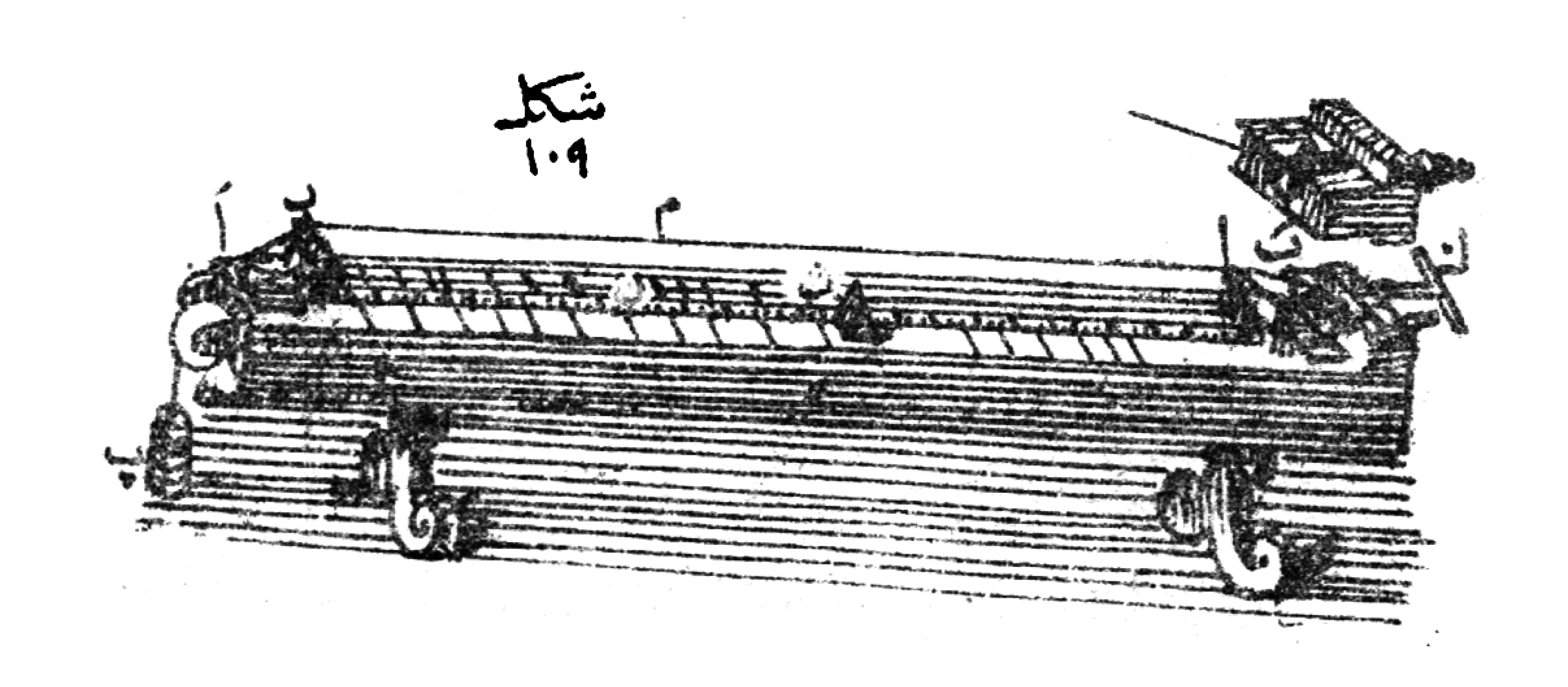
(المبحث الاول فى الاهتزازات العرضية للاوتار)

الاوتار فى فن السماع أجسام خيطية من معدن أو من أمعاء تكتسب مرونتها بالتوتر ويميز فى الاوتار نوعان من الاهتزازات أحدهما بالعرض أى عمودى على الاوتار والثانى بالطول أى فى اتجاه طولها

أما الاولى فتحدث بواسطة قوس كما فى الربابة أو بعفق الاوتار وزعزعتها كما فى القيثار وأما الاهتزازات الطولية فتتولد بدلك الاوتار على اتجاه طولها بخرقة ذر عليها من مسحوق القلفونيا

(المبحث الثانى فى مقياس الصوت)

ميزان الصوت جهاز يستعمل لدراسة الاهتزازات العرضية للاوتار ويسمى أيضا بذى الوتر لانه لايحمل الاوتر اواحدا فى الغالب ويتركب هذا الجهاز من صندوق رقيق من الخشب معد لتقوية الصوت وعلى هذا الصندوق مشطان ثابتان ا و ب شكل ١٠٩



بعد أحدهما عن الآخر ويبين المشطين خط منقسم مليمترات ومرسوم على الصندوق على يمين وشمال هذا الخط تقسيمان أحدهما يدل على العلامات الموسيقية الاصلية والثانى على علامات الاهوية المعتدلة المتفرعة من الاصلية ثم يمر على المشطين وتران أحدهما م يلف من طرفه على مسمار من حديد ثابت ومن الطرف الثانى على مسمار بَ المربوط فى برمة أفقية تتأخر كثيرا أو قليلا بتدوير ثقب ك الذى فيه تمر البرمة بحيث يتوتر الخيط على حسب الارادة والوتر الثانى مثبت بالكيفية المذكورة من طرفه ر وطرفه الآخر يمر على بكرة و يتوتر بوزنات ب من رصاص تزاد الى أن يصل هذا الخيط الى التوتر المطلوب وبالجملة من مشط متحرك ث ينقل على الوتر ليتغير طوله

فالوتر الاول م يوتر الى أن يعطى صوتا معلوما تقابل به الاصوات التى يعطيها الوتر الثانى كلما زاد توتره أو قصر

والاوفق أن يمر كل من الوترين على بكرة وحينئذ يكونان موترين بأثقال متساوية وفى نسبة معلومة

(المبحث الثالث فى قوانين الاهتزازات العرضية للاوتار)

ظهر من الحساب والتجربة أن الاهتزازات العرضية منقادة للقوانين الآتية

القانون الاول اذا كان توتر الوتر ثابتا كان عدد اهتزازاته فى الزمن الواحد على حسب عكس طوله فاذا فرض أن وترا ذا طول مّا يهتز مرة واحدة فى زمن معين وقصر طوله بواسطة المشط تدريجا بحيث يرجع الى النصف أو الثلث أو الربع وهكذا صار عدد اهتزازاته فى الزمن نفسه ٢ و ٣ و ٤ وهكذا

القانون الثانى اذا تساوت الاوتار طولا ومادة وتوترا كان عدد اهتزازاتها على حسب عكس أنصاف أقطارها فاذا وتر على مقياس الصوت وتران من مادة واحدة كمن نحاس أو صلب ذوا توتر واحد وطول واحد لكن قطر أحدهما ضعف قطر الثانى فان أرفعهما يهتز فى الزمن نفسه اكثر من اهتزاز أغلظهما بمرتين

القانون الثالث ان عدد اهتزاز الوتر الواحد يكون متناسبا مع جذر مربع الثقل المتوتر به فاذا كان وتر موترا بثقل مّا يهتز مرة واحدة فى زمن معين وجعل هذا الثقل أكبر

من

من الاول بأربع مرات أو تسعة أو ستة عشرة مرة صار عدد الاهتزازات فى الزمن نفسه ٢ و ٣ و ٤

القانون الرابع اذا تساوت الاوتار واختلفت فى الكثافة أى المادة كان عدد اهتزازات الوتر على حسب عكس جذر مربع كثافته فاذا ثبت على مقياس الصوت وتران متساويا القطر والطول والتوتر لكنهما مختلفا الكثافة بان كان أحدهما من أمعاء وكثافته مقدرة بواحد والثانى من نحاس وكثافته مقدرة بتسعة فان وتر الامعاء يهتز فى الزمن نفسه عددا من الاهتزازات أكثر من عدد اهتزازات الوتر النحاس بثلاث مرات وتوجد هذه القوانين مستعملة فى الموسيقى فى الآلات ذوات الاوتار التى فيها يتغير طول وقطر وتوتر وطبيعة الاوتار بحيث يتحصل منها هواء كذا أو كذا

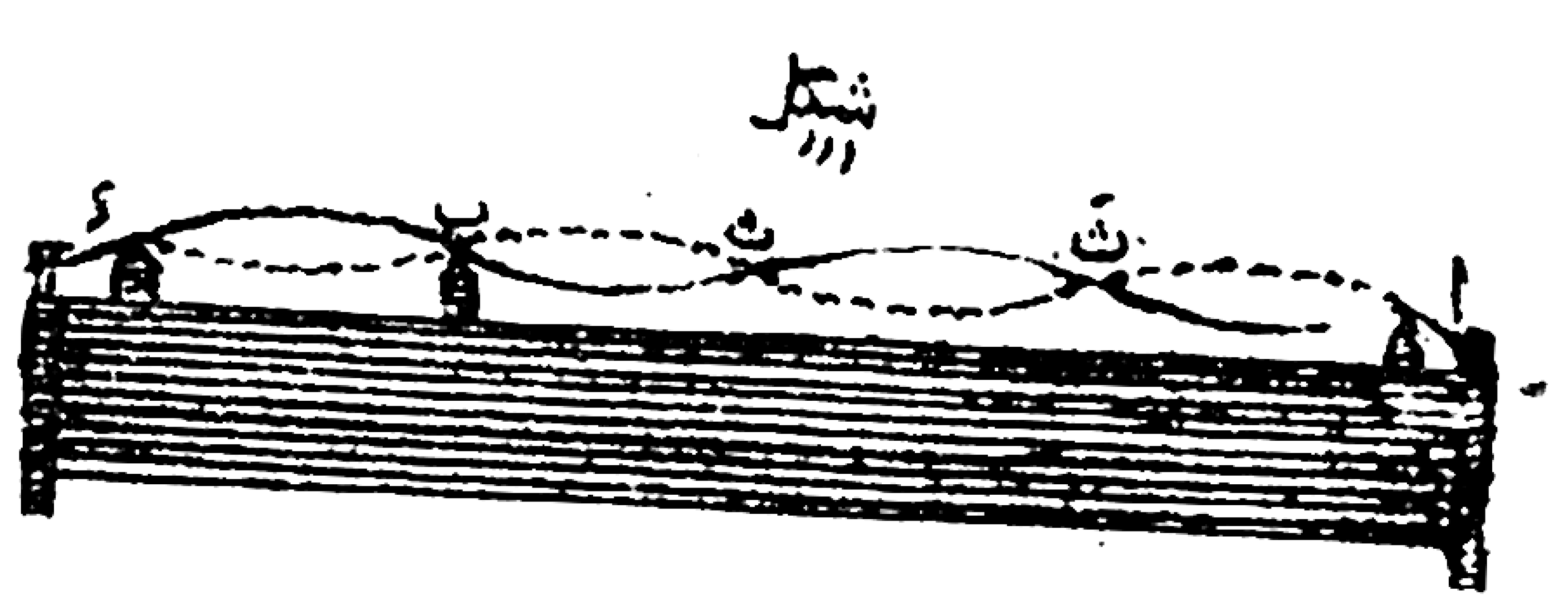
(المبحث الرابع فى العقد والخطوط العقدية)

متى اهتز جسم فلا تهتز جميع أجزائه فقط بل تنقسم الى عدة أجزاء متداخلة يهتز كل منها باهتزاز مخصوص ويوجد بين هذه الاجزاء نقط أو خطوط تهتز أقل من غيرها تعتبر كانها ساكنة بالنسبة لغيرها فهذه النقط أو الخطوط هى التى تسمى بالعقد وبالخطوط العقدية وتسمى الاجزاء المهتزة المنحصرة بين عقدتين أو خطين عقديين بالانحناء ويسمى وسط الانحناء بالبطن وهو الجزء الذى تصل فيه السعة القوسية الى نهايتها ولاجل اظهار العقد والبطون فى الاوتار يثبت أحدها من طرفيه ويمر تحته بمشط صغير يثبت على التوالى فى ثلث الوتر ثم فى ربعه ثم فى خمسه فان كان المشط مثبتا فى ثلث الوتر كما هو مبين فى شكل ١١٠

شكل ١١٠

وهز جزء ب د بواسطة قوس انقسم الجزء الثانى ا ب الى قسمين ا ث و ث ب يهتز كل منهما على حدته وتبقى النقطة ث كانها ثابتة ويتحقق ذلك بوضع قصاصات صغيرة من الورق واحدة فى النقطة ث وواحدة بين ب و ث والثالثة بين ث و ا فاما القصاصة التى فى ث فلا يحصل لها الا اضطراب خفيف زمن سقوط الاثنين الآخرين بعيدا وحينئذ فقد حدثت عقدة فى النقطة

الاولى وبطنان فى النقطتين الاخيرتين وان كان المشط فى ربع الوتر حدث بين ا وب عقدتان وثلاثة بطون كما فى شكل ١١١



وان كان فى خمسه حدث بين النقطتين المذكورتين ثلاث عقد وأربعة بطون وهلم جرا وتحدث نفس هذه الظاهرة فى جميع الاجسام المهتزة سواء كانت ألواحا أو قضبانا أو أنابيب صوتية

(الفصل الرابع فى اهتزاز الهواء فى الانابيب الصوتية وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى الانابيب الصوتية)

الانابيب الصوتية هى أنابيب مجوفة تتولد الاصوات فيها باهتزاز عمود الهواء المنحصر فيها وتولد الصوت فى الآلات المتقدمة الى هنا ينشأ عن اهتزاز الاجسام الصلبة وليس الهواء فيها الاموصل فقط وأما فى الآلات الهوائية التى تكون جدران أنابيبها ذات مقاومة كافية فعمود الهواء المنحصر فى هذه الانابيب هو وحده الجسم الصوتى

ومن المحقق أن مادة الانابيب ليس لها تأثير على الصوت وكذا تساوى أبعادها سواء كانت من الخشب أو البلور أو من معدن وانما الصوت هو المتنوع فقط

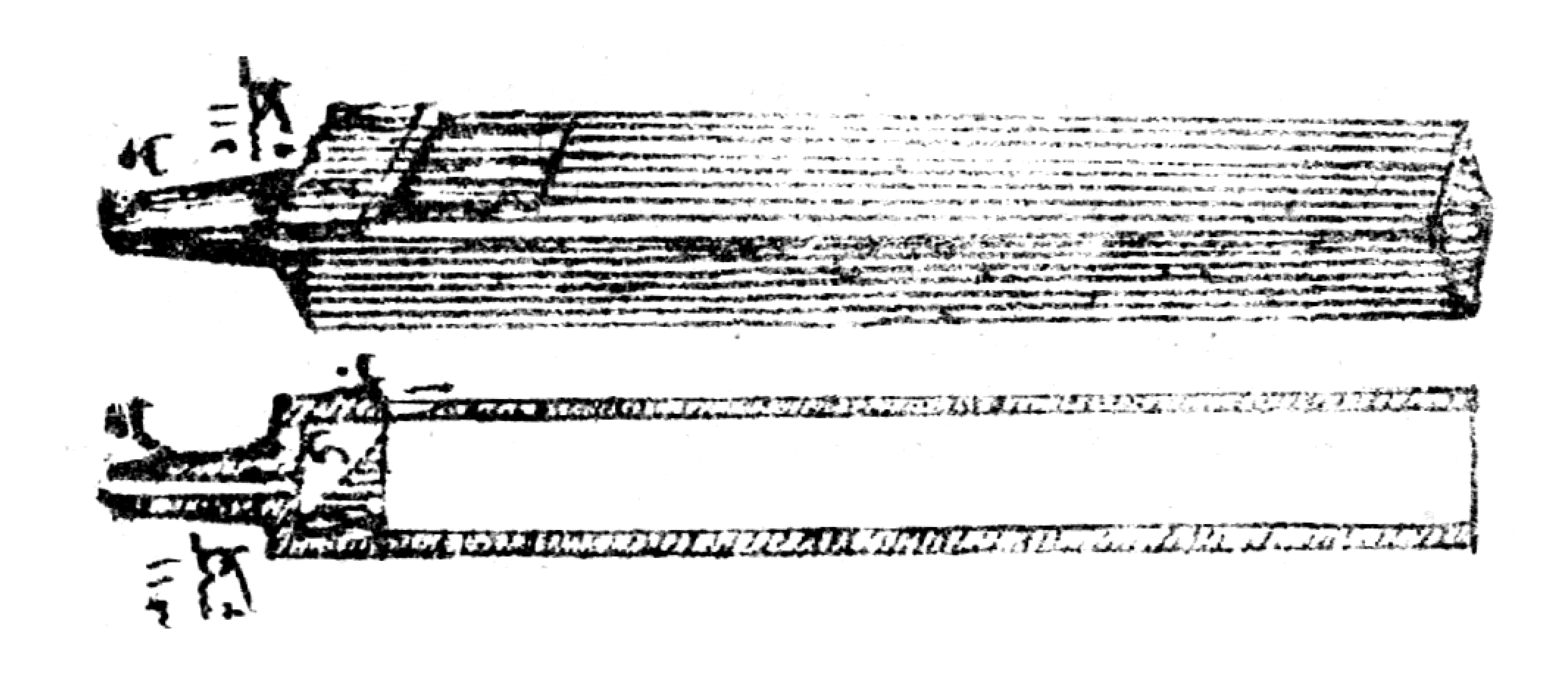
فاذا لم يفعل الا النفخ فى الانابيب فلا يتولد فيها صوت بل يتحرك الهواء فقط حركة تأخذ فى التقدم مع الاستمرار ولاجل تولد الصوت بأى واسطة كانت يلزم أن يحدث فى الهواء تكاثف وتخلخل سريعان متعاقبان ينتشران فى جميع عمود الهواء المنحصر فى الانبوبة ولذلك يلزم أن يعطى لطرف الانبوبة الواصل منه الهواء شكلا موافقا بحيث لا يمكن دخول الهواء الا متقطعا ليس مستمرا وتنقسم الانابيب الصوتية بالنظر لكيفية اهتزاز الهواء فيها الى أنابيب ذوات مبسم وانابيب ذوات ريش والمراد بالريشة هنا اللسان بالوص المزمار

(المبحث الثانى فى الانابيب ذوات المبسم)

جميع أجزاء المبسم فى هذه الانابيب ثابتة وتلك الانابيب تكون من خشب أو من معدن منشورية الشكل أو اسطوانيته ذات طول عظيم بالنسبة لقطرها

وشكل

وشكل ١١٢ يوضح لنا الانبوبة ذات المبسم وشكل ١١٣ يريها مقطوعة بالطول وفى هذه الانبوبة يسمى الجزء السفلى ب الآتى منه الهواء بالقاعدة ويستعمل لتثبيت الانبوبة على الكير كما فى شكل ١١٤ الآتى



وبعد خروج الهواء من القاعدة يمر فى فتحة طولية ضيقة ى ومصنوع فى الجدار المقابل لهذه الفتحة فتحة بالعرض هى المبسم وحافتها ا المبرية كالقلم هى الشفة العليا والحافة ب هى الشفة السفلى

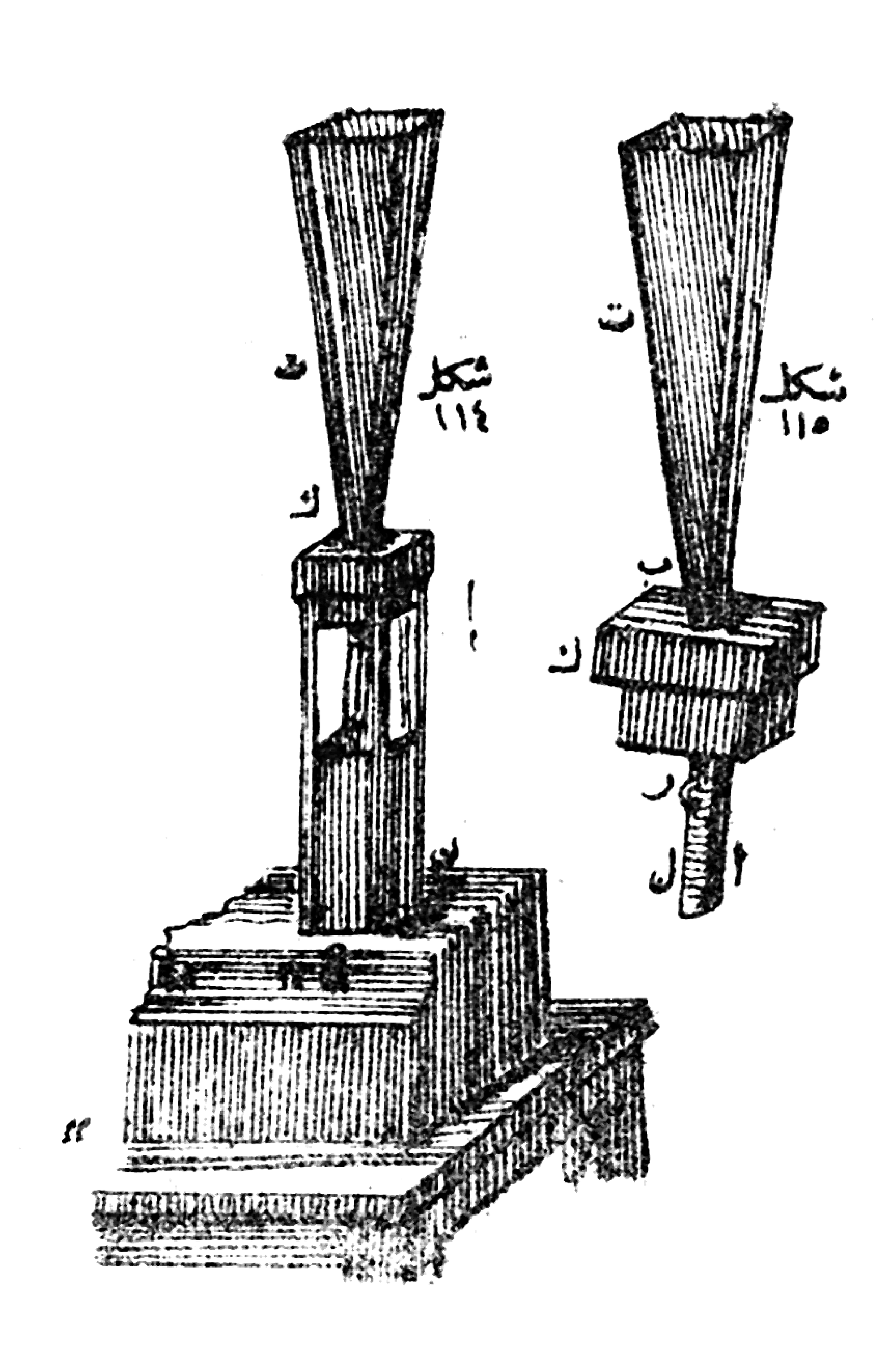
اذا تقرر ذلك فعمود الهواء المار بواسطة القاعدة يتجزأ على حافة الشفة العليا وينضغط فيها ثم يؤثر ثانيا بفعل المرونة على تيار الهواء المستمر الورود ويوقفه لكن لا يحصل هذا الوقوف الا زمنا قصيرا جدا لان الهواء يتصاعد من المبسم ويحل تيار الهواء الآتى من القاعدة محله وهكذا فى جميع مدة زمن مرور الهواء وينتج عن ذلك دفعات تنتقل لهواء الانبوبة وتولد فيها جملة أنصاف موجات رنانة متكاثفة ومتخلخلة على التعاقب وتكون هذه الموجات أكثر سرعة كلما كانت سرعة تيار الهواء عظيمة وكانت الشفة العليا أكثر قربا من الفتحة الضيقة ى ولاجل أن يكون الصوت خالصا توجد نسبة بين تنظيم الشفة وفتحة المبسم وعظم الفتحة الطولية الضيقة وبالجملة فينبغى أن يكون للانبوبة طول عظيم بالنسبة لقطرها

ففى المزمار العرضى يكون الطرف الوارد منه الهواء فتحة بسيطة جانبية مستديرة وانما بالتنظيم الذى يعطى للشفة يكون تجزى تيار الهواء المدفوع على حوافى هذه الفتحة ومثل ذلك يحصل فى مزمار پان وفى المفتاح الانثى الذى يصفر به وغيره

(المبحث الثالث فى الانابيب الانشية أى ذات الريش)

يهتز عمود الهواء فى هذه الانابيب بواسطه صفائح مرنة تسمى ريشا وتنقسم هذه الريش الى قارعة وخالصة

الريش القارعة تتركب هذه الريش من قطعة خشب أو معدن ا شكل ١١٥ تسمى مجرى محفورة فى اتجاه طولها على شكل ملعقة ومثبتة فى نوع سدادة ك مثقوبة ثقبا يوصل قناة المجرى بالانبوبة الطويلة ت والمجرى مغطاة بصفيحة من النحاس الاصفر ل تسمى باللسان وهذا اللسان يكون فى وضعه المعتاد متباعدا قليلا من حافة المجرى لكن حيث انه كثير السلاسة فيمكنه أن يقرب منها بسهولة و يغلقها و ينتظم تباعده عنها بواسطة الطرف السفلى المنحنى للسلك الحديد ب ر وبادخال طرف السلك كثيرا أو قليلا يقصر أو يطول الجزء المهتز من اللسان وبهذا يزيد أو ينقص عدد الاهتزازات والريشة موضبة أعلى أنبوبة قائمة الزوايا ك ن شكل ١١٤



وهذه

وهذه الانبوبة مغلقة من جميع جهاتها ماعدا قاعدتها التى تثبت على الكبر ولاجل مشاهدة اهتزازات اللسان فى دروس الطبيعة يكون جزء جدار الانبوبة المذكورة المقابل للريشة من زجاج وهذا التوضيب هو المبين فى شكل ١١٤ المتقدم فتى أدخل الهواء فى الانبوبة مر أولا بين اللسان والمجرى ليصعد فى الانبوبة ت لكن بتزايد سرعة تياره يقرع اللسان حوافى المجرى و يغلقها بالكلية فيمتنع مرور التيار ثم بالنظر لمرونة اللسان يرجع ثانيا على نفسه ثم ينجذب ثانيا بمجرد مرور التيار وهكذا بحيث ان الهواء لا يمر من الانبوبة القائمة الزوايا الى أنبوبة ت الا متقطعا وتحدث فى أنبوبة ت عين الدفعات التى تحدث فى الانابيب ذوات المباسم وينشأ عن ذلك صوت كثير الارتفاع أو قليله كلما كان تيار الهواء سريعا

الريش الخالصة اخترع جريمى سنة ١٨١٠ نوع ريش يسمى بالريش الخالصة لان اللسان فيها عوضا عن أن يقرع حوافى المجرى كما فى الريش المتقدمة يدخل فى المجرى متقاربا جدا من حوافيها بحيث يتحرك الى الداخل والى الخارج وشكل ١١٦ يبين ريشة من هذا النوع والمجرى هنا عبارة عن صندوق صغير من الخشب ا حافته الباطنية صفيحة من النحاس الاصفر وفى وسطه فتحة طولية فى باطنها اللسان ل الذى يتحرك خالصا من الأمام الى الخلف ليعطى طريقا لتيار الهواء الذى أوقفه عند مروره بين جدران الفتحة الطولية فى كل مرة وسلك ر يستعمل أيضا لتنظيم طول الجزء المهتز من اللسان فاذا كانت الريشة موضوعة فى أنبوبة ك ن ومر تيار الهواء فى الانبوبة المذكورة اندفع اللسان وانحنى من الخارج الى الداخل وترك الهواء يصعد فى أنبوبة ت لكن برجوع اللسان ثانيا على نفسه بالنظر لمرونته يحدث جملة اهتزازات تجعل المجرى ينفتح وينغلق على التعاقب وتجعل تيار الهواء متقطعا وينشأ عن ذلك موجات رنانة تحدث صوتا يزداد ارتفاعه مع ازدياد سرعة التيار وتتمة الكلام على الانابيب الصوتية مذكورة فى المطوّلات

شكل ١١٦

(الفصل الخامس فى اهتزاز القضبان والصفائح والالواح والاغشية وفيه مباحث)

(المبحث الاوّل فى اهتزاز القضبان والصفائح)

القضبان والصفائح الرقيقة سواء كانت من الخشب أو الزجاج أو من معدن وخصوصا الصلب المسقى تهتز بالنظر لمرونتها وتعطى كالاوتار نوعين من الاهتزازات الاول العرضية والثانى الطولية وتتولد الاولى بتثبيت القضبان أو الصفائح من طرفيها وامرار القوس على الجزء السائب

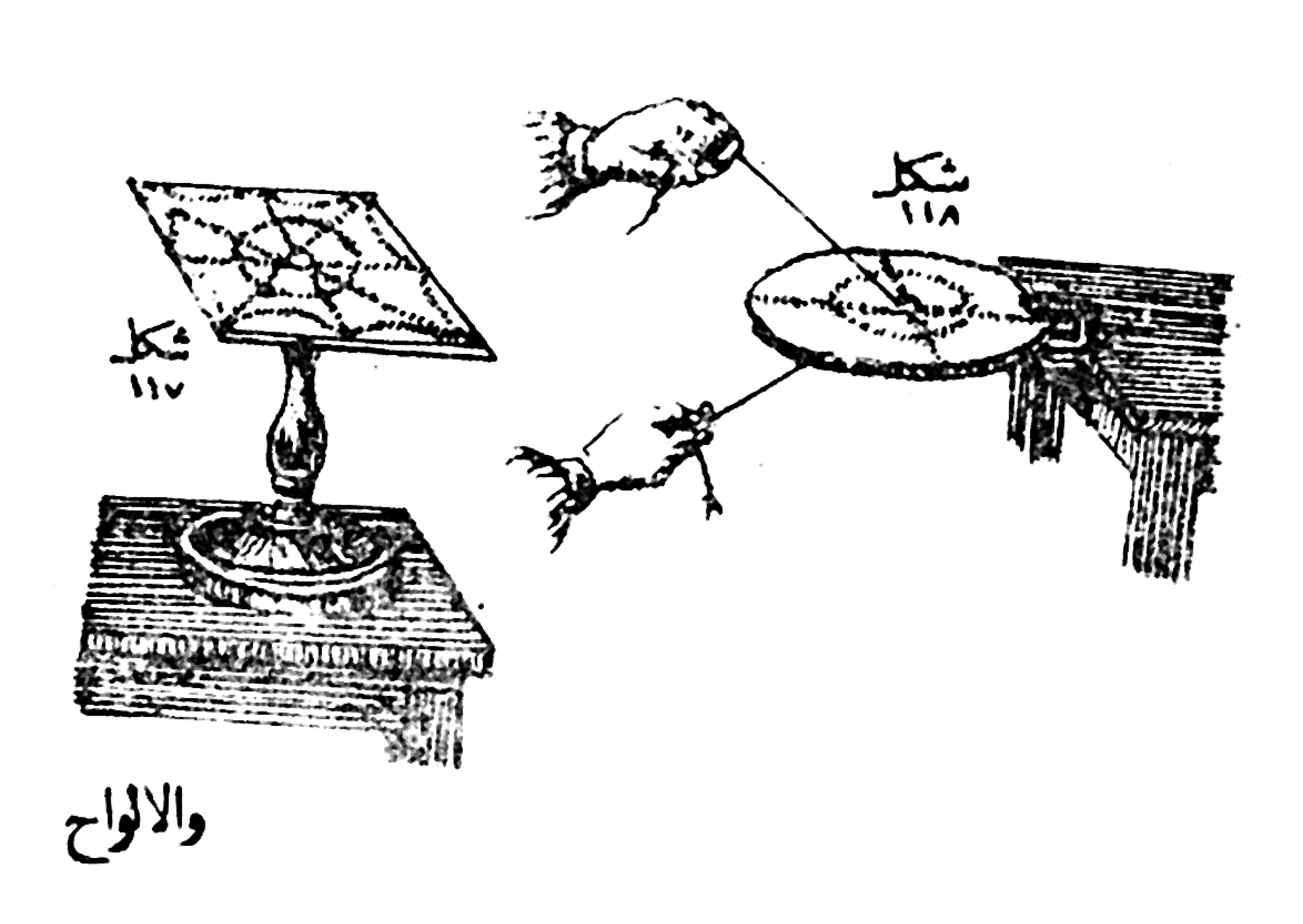
وتحدث الاهتزازات الطولية فى قضيب بتثبيته من أحد طرفيه ودلكه فى اتجاه طوله بقطعة من الجوخ مبتلة أو ذر عليها مسحوق القلفونيا وعلى كل فلا يتحصل فى هذه الحالة الاخيرة صوت الا اذا كانت نقطة القضيب الثابتة فى وسطه أو ثلثه أو ربعه

ويوضح بالحساب أن عدد الاهتزازات العرضية للقضبان والصفائح المتحدة الطبيعة يكون على حسب النسبة الطردية لثخانتها وعلى حسب النسبة العكسية لمربع أطوالها وعرض الصفائح ليس له تاثير على عدد الاهتزازات التى تحدثها وانما يغير القوة اللازمة للاهتزاز فقط وفى القضبان المرنة المتحدة الطبيعة يكون عدد الاهتزازات الطولية على حسب عكس أطوالها مهما كان قطرها وشكل قطاعها العرضى

(المبحث الثانى فى اهتزاز الالواح)

متى أريد اهتزاز لوح فانه يثبت من مركزه كما فى شكل ١١٧

ويمر بالقوس على حافته مع الاتكاء أو يثبت من أى نقطة من سطحه ويحرك من مركزه المثقوب بفتحة يفعل فيها الدلك بواسطة شعر مطلى بالقلفونيا كما فى شكل ١١٨



والالواح

والالواح المهتزة تظهر خطوطا عقدية تتغير بعدد أوضاعها وعلى حسب شكل الالواح ومرونتها وكيفية الاهتزاز وعدد الاهتزازات وتصير الخطوط العقدية ظاهرة بتغطية الالواح بطبقة خفيفة من الرمل قبل اهتزازها فبمجرد حدوث الاهتزاز يترك الرمل الاجزاء المهتزة ويجتمع على الخطوط العقدية كما في شكلى ١١٧ و١١٨ المذكورين ويتعين وضع الخطوط العقدية على حسب الارادة بلمس الاجزاء التى يقصد حدوثها فيها ويكون عدد هذه الخطوط كثيرا كلما كان عدد الاهتزازات كثيرا أعنى كلما كان الصوت المتولد بالالواح أكثر حادية

واهتزازات الالواح منقادة للقانون الآتى وهو أن الالواح التى هى ذات طبيعة واحدة وشكل واحد وتعطى أشكالا واحدة يكون عدد اهتزازاتها على حسب النسبة الطردية لثخانة الالواح لا على حسب النسبة العكسية لاسطحها

(المبحث الثالث فى اهتزاز الاغشية)

لين الاغشية يمنعها من الاهتزاز اذا لم تكن مشدودة مثل جلد الطبول فان كانت كذلك حدث عنها حينئذ صوت أكثر حدة كلما كانت صغيرة القطر وقوية التوتر واهتزاز الاغشية يكون بقرعها كما فى الطبل أو بالتأثير وفى الواقع شاهد ساورت اهتزاز الغشاء بتأثير اهتزازات الهواء مهما كان عدد هذه الاهتزازات بشرط أن تكون ذات شدة كافية وشكل ١١٩ يبين غشاء مهتزا بتأثير الاهتزازات الواصلة للهواء من جرس رنان وبالرمل الناعم المنتشر على الغشاء يظهر تكوين العقد والبطون كما تظهر على الالواح

شكل ١١٩

(المبحث الرابع فى الصوت الحيوانى)

الصوت لا يوجد الا عند الحيوانات ذات الرئة كالحيوانات الثديية وغيرها لان الصوت انما يتكون من اندفاع الهواء المنحصر فى الرئة بواسطة العضلات الزفيرية فانها كدفتى المنفاخ تكبس على الرئة فيندفع الهواء منها للخارج فى القناة المسماة بالقصبة

الرئوية التي هي متكونة من حلقات غضروفية منضمة لبعضها باغشية صغيرة لتنقبض وتنبسط فتقصر أو تطول وتضيق أو تتسع على حسب الارادة وهذه القناة تنتهي الى الاعلى بمتسع يسمى بالحنجرة مفتوح من سطحه العلوي بفوهة متجهة من الخلف الى الامام تمتد وتنضم شفتاها حتى تتلامسا وفي أعلاها قرب قاعدة اللسان طابق يسمى بطابق الحنجرة أو لسان المزمار مرتبط بجزء من حافة المزمار فيرتفع وينخفض كي يسده عند الحاجة وبالجملة فالقصبة الرئوية بمنزلة مرسلة الهواء اسطوانة مزمارية تمتد طولا وعرضا ليتكون عنها درجات الصوت وأنواعه من الثقيل جدا الى الدقيق جدا وشفتا المزمار بمنزلة ريشتي بالوصين سائبتين مرنتين تتحركان وتهتزان على بعضهما لتتولد عنهما الهزات الرنانة والذي ينوع هذه الهزات بانخفاضه وارتفاعه على فتحة المزمار هو لسان المزمار وتتنوع الاصوات أيضا بمرورها في الفم على حسب توسيعه وتضييقه واللهاة المرتفعة خلف الحفر الانفية تقسم الصوت المهتز وتحفظ منه جزأ في تلافيف الخيشوم لتبقى غنة الصوت ولهذا يصير الصوت أخن اذا كان الانف مسدودا ويضيع اكثر الصوت فيمن كانت لهاته مفقودة أو مثقوبة ومما يثبت تولد الاصوات من المزمار فقد الصوت فيما اذا فتحت القصبة الرئوية من أسفل الحنجرة

(المبحث الخامس في تكون السمع)

آلة السمع في الانسان في غاية الاتقان لادراك الاصوات اذ هي مشتملة على الاذن الظاهرة التي هي الصيوان الذي يتلقف الاجزاء الهوائية الحاملة للاصوات والقناة المنحرفة التي هي الصماخ وغشاء الطبلة المتصل بالصماخ والمكون لسدادة فاصلة بين الاذن الظاهرة والباطنة وخلف هذا الغشاء مسافة تسمى بصندوق الطبلة بينها وبين الجزء الخلفي من الفم استطراق بقناة تسمى بوقا وستاكيوس مغشاة بغشاء رخو مخاطي في جميع طولها منفعتها تجديد الهواء في الاذن الباطنة ويوجد في صندوق الطبلة أربع عظيمات متصلة ببعضها على هيئة سلسلة متحركة أحد طرفيها مثبت في غشاء الطبلة والثاني في فتحة من الخلف تسمى الكوة البيضية مغطاة بغشاء مخاطي أيضا وبجانب الكوة البيضية الكوة المستديرة مسدودة بغشاء أيضا وفي باطن الجزء الصخري من العظم الصدغي تلافيف متعرجة مكونة للتيه الذي هو مكون من الدهليز الذي هو مسافة صغيرة ومن جزء ملولب يسمى الحلزون ومن ثلاث قنوات

صغيرة

صغيرة هلالية مملوأتهن جواهر رخوة مجهول منفعتها والتيه كله مملوء بسائل ضرورى للسماع بحيث لو انفجر غشاء أحد الكوتين وخرج منه هذا السائل يحدث الصمم بخلاف غشاء الطبلة فانه قد ينمحق ويبقى السمع وان كان مع بعض تغيير فيه والحيوانات التى لها صيوان طويل متحرك جدا يكون لها بمنزلة قرين سمعى لانه يتلقف أدنى دوى وغشاء الطبلة يتوتر بالعضلات المحركة للعظيمات اذا تأثر من الهواء الحامل للاهتزازات الصوتية والهواء المنحصر فى صندوق الطبلة معد لتوصيل الاصوات للاذن الباطنة ويقال ان العظيمات الاربع منوطة بادراك الاصوات اللطيفة والفروق الواهية جدا التى تقع بينها بدليل أنها اذا انمحقت من داء نشأ عن ذلك فقد دقة حس السمع والاعصاب اللطيفة المنتشرة فى جميع هذه الاجزاء هى التى تدرك بها الاصوات فهى المكونة لحس السمع

(الباب السادس فى الحرارة وفيه فصول)

(الفصل الاول فى التعريفات الاولية والترمومترات وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى الحرارة وفرضية طبيعتها)

يعطى اسم حرارة للسبب الذى على حسب كثرة أو قلة شدته يحدث فى اعضائنا الاحساس بالحر أو البرد لكن هذا السبب له أفعال كثيرة الاختلاف وكثيرة القوة فهو الذى يذوب الجليد ويغلى الماء ويحمر الحديد

وقد وضعت فروضات عديدة على سبب الحرارة منها اثنان فقط تمسك بهما الطبيعيون فرض السريان وفرض التموج

فعلى الفرض الاول فسرت ظواهر الحرارة زمنا طويلا بفرضية سيال مادى غير قابل للحصر ولا للوزن اجزاؤه التى فى حالة دفع ثابت منتشرة فى جميع الاتجاهات والمسافات وكامنة بمقادير مختلفة فى جميع الاجسام ومانعة لتلامس اجزائها وهذا الفرض المتمسك به العلماء المشهورون مثل نيتون ولاقوازييه ولابلاس وغيلوساك ترك الآن واتفق طبيعيوا هذا العصر على تعويضه بفرض التموج الذى على حسبه تكون الجزيئات الاخيرة للاجسام منتعشة بالحركة الصغيرة جدا والسريعة جدا التى هى سبب الحرارة والتى تنتقل من بعد بواسطة وسط مرن هو الاتير وهذا الاتير المنتشر

فى جميع العالم ومالئ للمسافات مصدوم بجزيئات الاجسام وهذه الصدمة تولد فيه موجات تنقل الحرارة من جسم الى آخر كما أن الموجات الرنانة للهواء تنقل الصوت بحيث انه فى نظرية التموج أى التحرك تكون جميع ظواهر الحرارة راجعة الى سبب واحد وهو الحركة فالاجسام الكثيرة الحرارة هى التى تهتز أجزاؤها بسرعة عظيمة والاجسام التى تسخن أو تبرد هى التى تكتسب أو تفقد حركتها

والظاهر أن نظرية التموج هى المختارة عند المتأخرين من الطبيعيين لكن حيث ان فرض السريان يسهل البراهين ويصيرها مختصرة اختير لتوضيح الظواهر الحرارية لكن متى قيل ان الجسم فقد أو اكتسب حرارة يفهم من ذلك أن جزيئاته فقدت أو اكتسبت الحركة.

(المبحث الثانى فى التأثيرات المختلفة للحرارة على الاجسام وفى التمدّد)

تختلف تأثيرات الحرارة من وجوه الاوّل أن الفعل الاوّلى للحركة الجزيئية التى تحدث الحرارة هو تبعيد جزيئات الاجسام عن بعضها

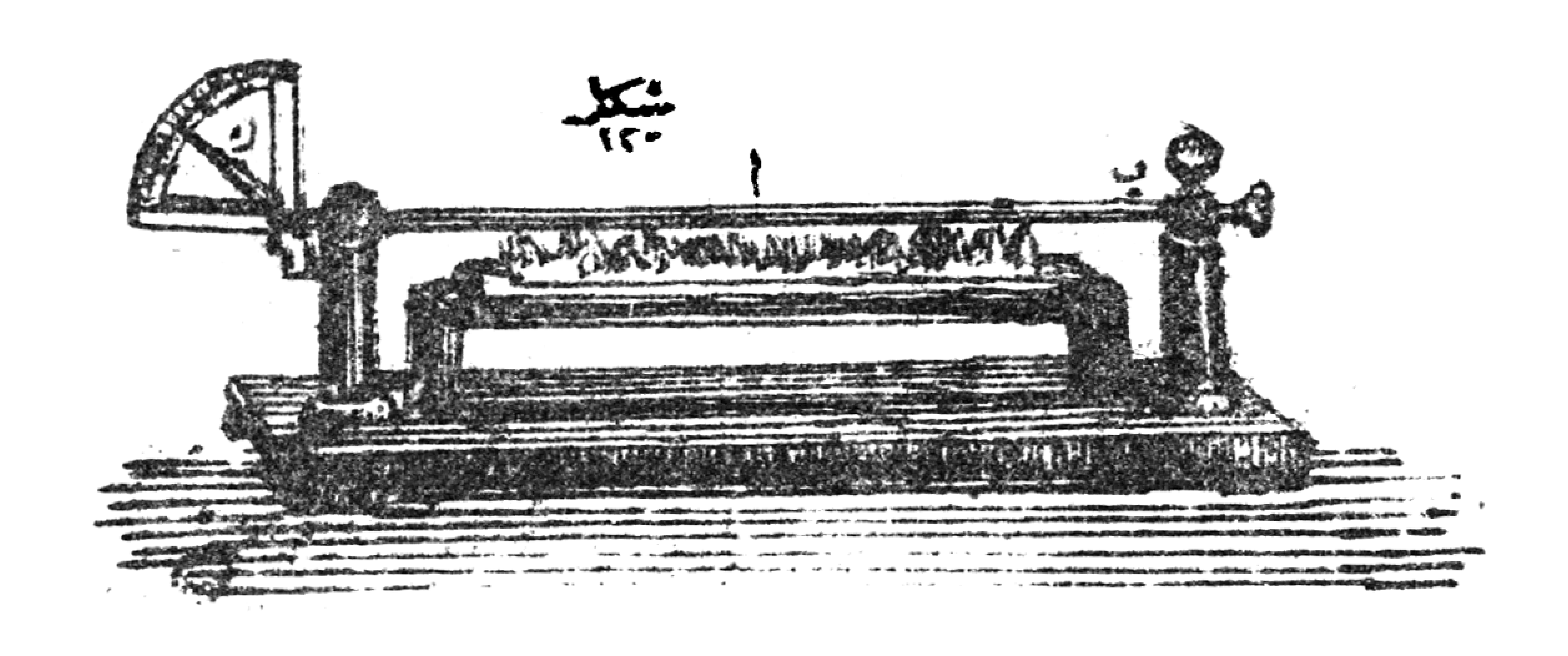
الثانى أنّ القوة الشديدة التى تكتسبها الجزيئات تزداد وتستحيل بها الاجسام من حالة الصلابة الى حالة السيولة أو من حالة السيولة الى الحالة الهوائية

الثالث أن باستمرار ازدياد القوة الشديدة تنفصل عناصر الاجسام عن بعضها لانها لا تكون طائعة لادنى ميل

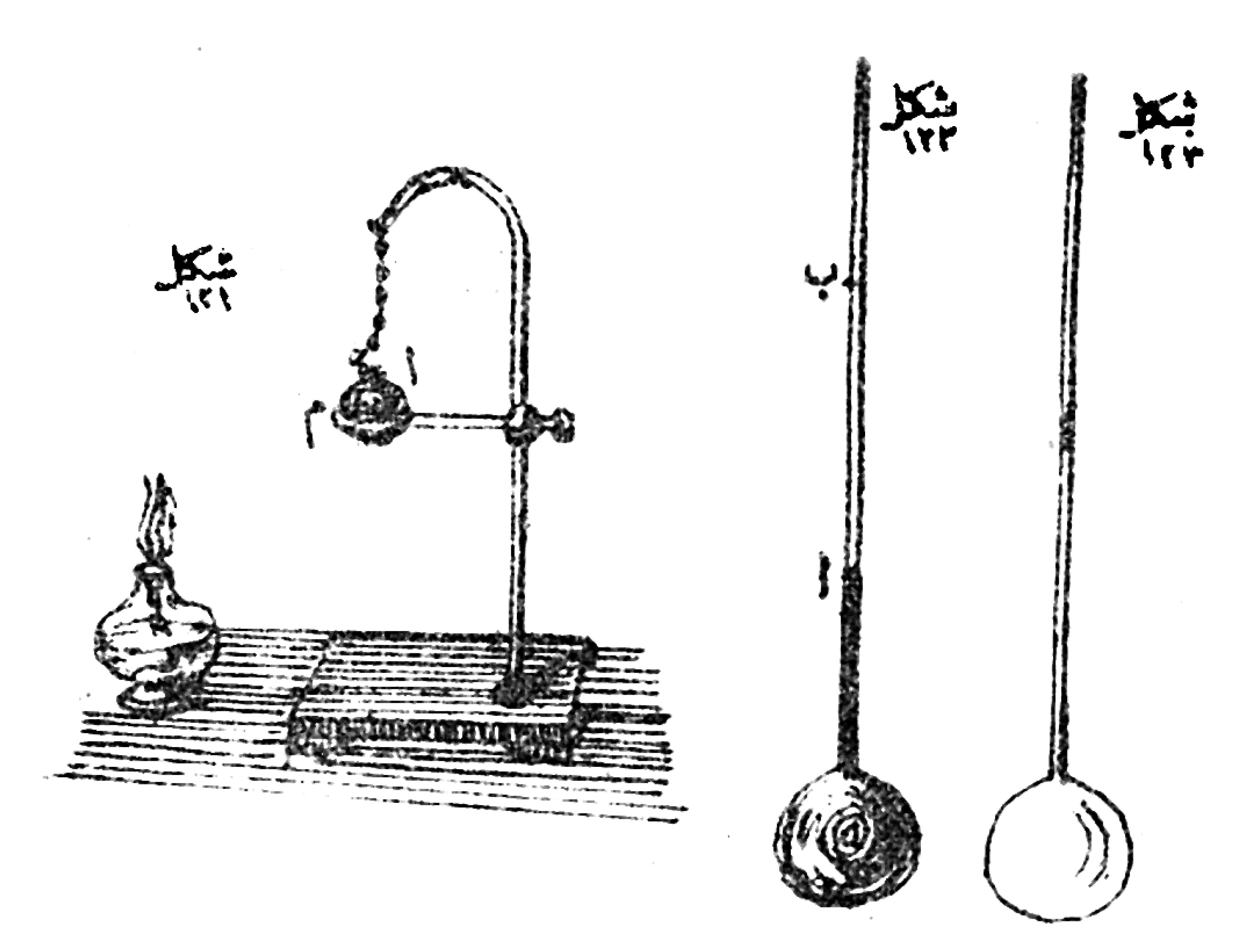
ولنتكلم أوّلا على التمدّد والانقباض اللذين هما قوّتان عظيمتان لانه يلزم لازدياد حجم الجسم أو تناقصه بنسبة واحدة قوّة ميخانيكية عادية عظيمة جدّا

وجميع الاجسام تتمدّد بتأثير الحرارة وأكثرها تمدّدا الغازات ثم السوائل ثم الجوامد ويميز فى الجوامد التمدّد الخطى أعنى فى جهة واحدة والتمدّد الجمى ولا يحصل أحد هذين التمدّدين بدون حصول الآخر وأمّا فى السوائل والغازات فلا يعتبر الا التمدّد الجمى

ولاجل اثبات التمدّد الخطى للمعادن يستعمل الجهاز الموضح فى شكل ١٢٠



الذى فيه ا قضيب معدنى مثبت من أحد طرفيه ببرمة ضاغطة ب وطرفه الآخر
خالص وملامس لاصغر ذراعى ابرة ك المتحركة على مينة وتحت القضيب مستودع
أسطوانى يلهب فيه الكؤل ونجعل الابرة ك أولا فى صفر المينة فبمجرد ازدياد
سخونة قضيب ا يشاهد صعود الابرة وهذا يثبت أن القضيب قد زاد طوله
ويثبت التمدد الجمى للجوامد بواسطة حلقة كرافيزاند وهى حلقة صغيرة معدنية م
شكل ١٢١
تمر منها فى الدرجة الاعتيادية كرة ا من النحاس الاحمر مرورا خالصا لان قطرها
تقريبا كقطر الحلقة لكن متى سخنت هذه الكرة على لهب المصباح الكؤلى لا يمكنها
المرور من الحلقة وهذا يثبت ازدياد حجمها
ولاجل اثبات تمدد السوائل تلحم أنبوبة شعرية فى كرة صغيرة من زجاج كما فى شكل ١٢٢
وتملأ الكرة وجزء من الانبوبة بسائل ملون فبمجرد تسخينها يرتفع السائل فى الانبوبة
من ا الى ب مثلا والتمدد المشاهد حينئذ يكون دائما أعظم مما فى الجوامد
ويمكن استعمال نفس الجهاز لاظهار تمدد الغازات ولاجل ذلك تملأ الكرة بالهواء
أو بغاز آخر وتدخل فى الانبوبة علامة من الزئبق طولها من ١ الى ٢ سنتيمتر
كما فى شكل ١٢٣



فمتى سخنت الكرة ولو بتقريب اليد منها اندفعت العلامة جهة طرف الانبوبة وتنتهى بخروجها منه فيعلم من هذا أن الغازات كثيرة التمدد حتى أنها تتمدد بأقل حرارة وفى هذه التجارب المختلفة تنضم جزيئات الاجسام متى بردت وتأخذ حجمها الاصلى متى عادت الحرارة لدرجتها الاولى

(المبحث الثالث فى قياس الحرارة)

حرارة الجسم هى الحالة الوقتية للحرارة المحسوسة فيه بدون زيادة ولا نقص فاذا زاد مقدار الحرارة المحسوسة أو نقص يقال ان حرارة الجسم ارتفعت أو انخفضت والحرارة فى نظرية تحرك الحرارة هى الحالة المخصوصة لاهتزاز الجزيئات وهى متعلقة بشدة انصداماتها وبكتلتها وسرعتها ودالة على القوة الشديدة التى اكتسبتها الجزيئات

(المبحث الرابع فى الترمومترات)

الترمومترات آلات تستعمل لقياس الحرارة وحيث ان عدم كمال احساسنا لا يسمح لنا بقياس حرارة الاجسام على حسب الاحساس كثيرا أو قليلا بالحرارة أو البرودة المؤثرين علينا لزم الاستعانة بالتأثيرات الطبيعية التى تحدثها الحرارة فى الاجسام

وهذه

وهذه التأثيرات أنواع عديدة اختير منها التمدد والانقباض لسهولة مشاهدتهما وحيث ان الاجسام الصلبة قليلة التمدد فتستعمل السوائل على العموم للتمدد في الترمومترات ومع ذلك فقد استعمل الطبيعيون تمدد الغازات أيضا في الترمومتر الهوائي كما سيأتي

والمستعمل من السوائل الزئبق والكؤل فالاول لانه من دون السوائل هو الذي يتمدد بانتظام ولانه لا يغلي الا على درجة حرارة مرتفعة جدا ولانه يتعادل مع الاجسام المحيطة به في درجة حرارتها أسرع من السوائل الاخر الاقل منه توصيلا للحرارة والثاني لكونه لا يتجمد بأعظم برد عرف

والترمومتر الزئبقي هو الاكثر استعمالا ويتركب من انبوبة شعرية من زجاج أو بلور ملحومة في مستودع أسطواني أو كروي من مادتها قد ملئ مع جزء من الانبوبة بالزئبق ومن درجات على نفس الانبوبة أو على مسطرة بحذائها تبين تمدد السائل كما يشاهد في شكلي ١٢٨ و١٢٩ الآتيين

وعمل الترمومتر يشتمل على ثلاث عمليات خلاف لحم الانبوبة بالمستودع الذي يفعل بواسطة مصباح النقاش وهي تقسيم الانبوبة الى أجزاء متساوية السعة وادخال الزئبق في المستودع والتدريج

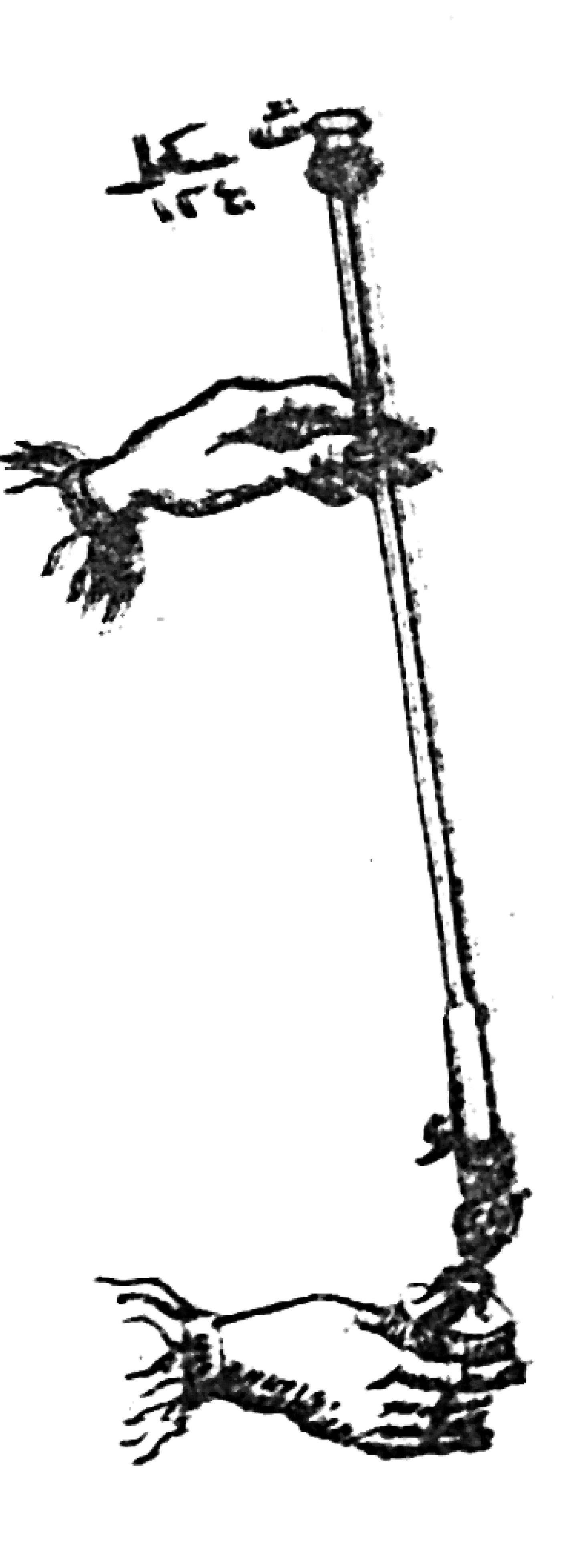
تقسيم الانبوبة الى أجزاء متساوية السعة حيث ان دلالات الترمومتر لا تكون مضبوطة الا اذا كانت الاقسام أي الدرجات الموضوعة على الانبوبة مطابقة لتمددات متساوية من الزئبق الكائن في المستودع فمن المهم أن تكون الاقسام مدرجة بحيث تدل على سعات متساوية في باطن الانبوبة فاذا كانت الانبوبة تامة الاسطوانية من الداخل كفى للحصول على سعات متساوية تقسيم طولها الى أجزاء متساوية لكن حيث ان قطر الانابيب الزجاجية على العموم أعظم من جهة دون أخرى ينتج من ذلك أن السعات المتساوية من أنبوبة تكون مبينة على الانبوبة أو المسطرة بأطوال غير متساوية وهذه الاطوال هي اللازم تعيينها

ولاجل ذلك يدخل في الانبوبة قبل لحمها بالمستودع عمود من الزئبق طوله من ٢ الى ٣ سنتيمتر ويعتنى بجعله في درجة حرارة واحدة وينقل في الانبوبة بحيث انه في كل انتقال للعمود يتقدم بمقدار يساوي طوله أعني أن أحد طرفي العمود يأخذ بالتوالي محل الطرف الآخر ويقدر الطول المشغول بعمود الزئبق بعشر المليمتر تقريبا بواسطة

مسطرة مقسمة مليمترات توضع عليها الانبوبة فى كل انتقال فاذا وجد أن طول عمود الزئبق هذا ثابت بدون تغير دل ذلك على أن سعة الانبوبة واحدة فى جميع طولها وأما ان تغير طول العمود وأخذ فى التناقص مثلا دل ذلك على زيادة القطر الباطنى للانبوبة فاذا شوهد حينئذ أن عمود الزئبق تغير طوله مليمترات كثيرة طرحت الانبوبة وانتخبت واحدة غيرها أكثر انتظاما وأما ان كانت هذه التغيرات غير محسوسة فيلصق بطول الانبوبة شريط من الورق بواسطة الغراء ويعلم عليه بقلم رصاص علامات فى محل النقط المشغولة بطرفى عمود الزئبق

والاقسام المتكونة حينئذ تبين على التوالى سعات متساوية حيث انها تقابل حجما واحدا من الزئبق وحيث ان المسافات بين هذه الاقسام متقاربة جدا بحيث يمكن اعتبار قطر الانبوبة ثابتا فى كل منها فتجعل أقساما صغيرة جدا بتقسيمها الى عدة أقسام متساوية بواسطة آلة التقسيم المسماة بالبرمة الميكرومترية فيتحصل بواسطة هذه الاقسام تدريج مضبوط للترمومتر

ملء الترمومتر لاجل ادخال الزئبق فى الترمومتر يلحم فى الطرف العلوى من الانبوبة قمع ث كما فى شكل ١٢٤



ويملأ بالزئبق ثم تمال الانبوبة قليلا ويمدد الهواء الذى فى المستودع بتسخينه بمصباح الكؤل أو بوضعه على شبكة مائلة كما فعل فى البارومتر واحاطته بجمر الفحم فيخرج من قمع ث جزء من الهواء المتمدد فاذا تركت الانبوبة حينئذ لتبرد وجعلت فى وضع رأسى انقبض الهواء الباقى فيها وقهر الضغط الجوى الزئبق على الدخول فى مستودع ء مهما كانت شعرية الانبوبة غير أن دخول الزئبق فى المستودع لا يستمر بل ينقطع عند ما تصير قوة الهواء الباقى فى المستودع بسبب تناقص حجمه كافية لموازنة ثقل الجو وثقل عمود الزئبق الذى فى الانبوبة ثم بتسخينه ثانيا وتركه ليبرد تدخل كمية جديدة من

الزئبق ويداوم على العمل هكذا الى أن لا يبقى فى المستودع ء الا كمية قليلة جدا من الهواء ولاجل طردها يسخن الترمومتر الى أن يغلى الزئبق الذى فى المستودع فتجذب أبخرته المتصاعدة جميع الهواء والرطوبة الموجودين فى الانبوبة والمستودع ومتى ملئت الآلة هكذا بالزئبق الجاف النقى يزال قمع ت ثم يغلق طرف الانبوبة على المصباح لكن ينبغى أن يسخن المستودع ء بحيث يخرج نصف الزئبق الكائن فى الانبوبة أو ثلثاه فان لم تفعل هذه الاحتراسات انكسر الترمومتر بتمدد الزئبق فيه وكمية الزئبق اللازم اخراجها تكون اكثر كلما كانت الآلة معدة لدرجات مرتفعة وينبغى أيضا تسخين المستودع ء فى الزمن الذى يراد فيه غلق الانبوبة بحيث يصل الزئبق المتمدد الى قمتها فحينئذ لا يبقى فى الترمومتر هواء وهذا ضرورى اذ يدونه ينكسر الترمومتر بسبب ما يحصل من الهواء المضغوط من تمدد الزئبق

تدريج الترمومتر والنقطة الثابتة لدرجاته بعد ملء الترمومتر كما ذكرنا يدرج أعنى ترسم على ساقه درجات تسمح لتقدير تغيرات الحرارة ولاجل ذلك يلزم أن تعين على الساق نقطتان ثابتتان يبينان درجتين متقابلتين يسهل استرجاعهما

وحيث أظهرت التجربة أن درجة ذوبان الجليد واحدة دائما مهما كان ينبوع الحرارة وأن الماء المقطر يغلى دائما فى درجة واحدة اذا كان تحت ضغط واحد وفى اناء من مادة واحدة جعلت درجة الجليد الذائب لاول النقطتين الثابتتين أعنى لتعيين صفر الترمومتر وجعلت درجة غليان الماء المقطر فى اناء من معدن للنقطة الثابتة الثانية المبينة ب ١٠٠ بشرط أن يكون الضغط الجوى ٠ر٧٦ مترا

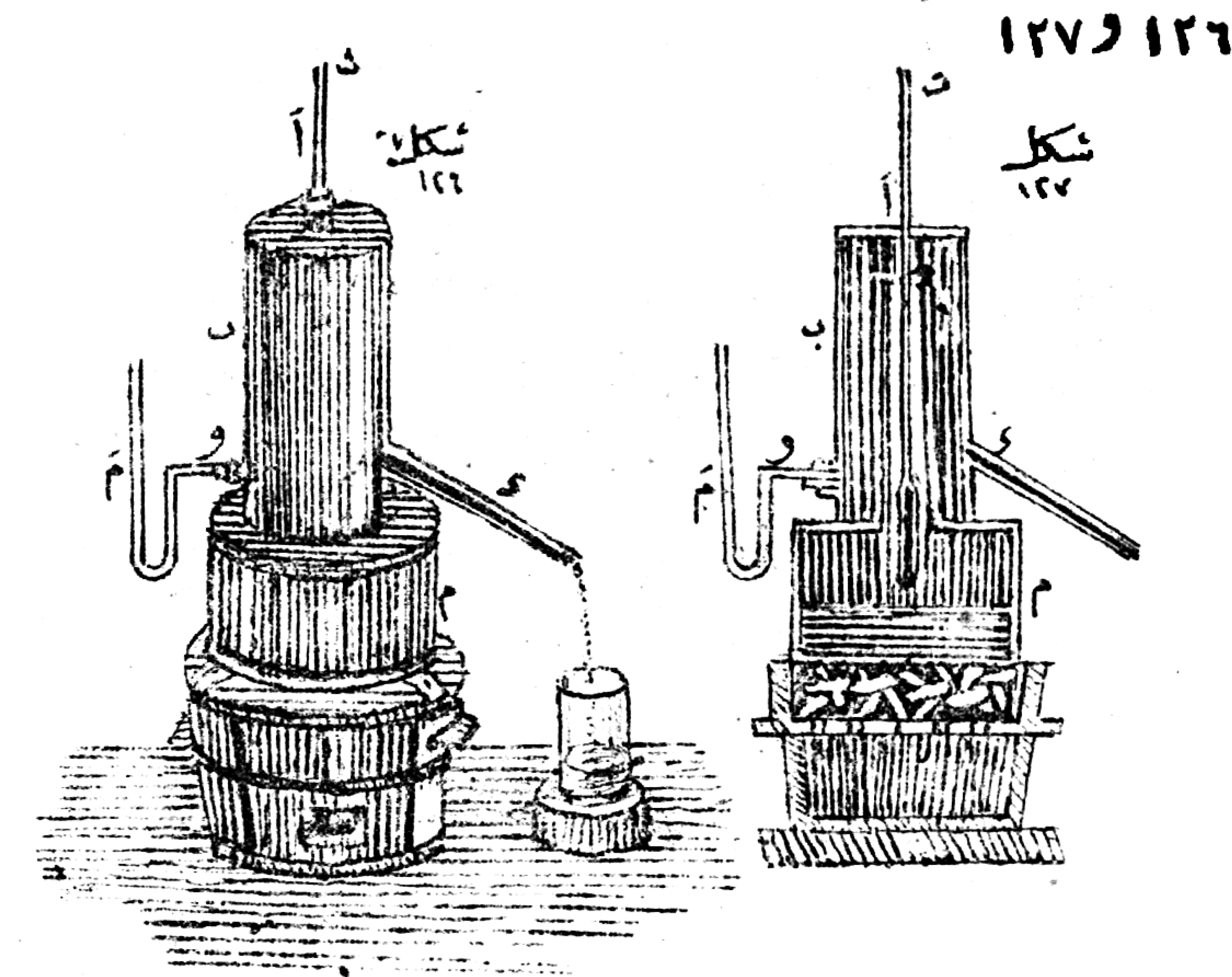
ويشتمل تدريج الترمومتر حينئذ على ثلاث عمليات تعيين الصفر وتعيين نقطة مائة ورسم الدرجات

شكل ١٢٥

تعيين الصفر لاجل تعيين الصفر يملأ بالجليد أو الثلج اناء مثقوب من قاعه بفتحة يسيل منها الماء الناشئ عن ذوبان الجليد كما فى شكل ١٢٥

ثم يغمر مستودع الترمومتر وجزء من ساقه فى هذا الجليد مدة ربع ساعة تقريبا فينخفض أولا عمود الزئبق بسرعة و بعد ذلك يبقى ثابتا وحينئذ يعلم فى النقطة المقابلة لاستواء الزئبق علامة بقلم رسم على

شريط صغير من الورق لصق من قبل على الساق وهذه العلامة هى محل الصفر تعيين نقطة ١٠٠ تعين النقطة الثابتة الثانية بواسطة الجهاز الموضح فى شكلى ١٢٦ و ١٢٧



احدهما يرى هذا الجهاز مقطوعا رأسيا والثانى يوضح جميع قطعه مدة تشغيله وقطع كل من الشكلين مبينة بحروف واحدة والجهاز جميعه من النحاس الاحمر وهو متكون من أنبوبة ا المركزية المفتوحة الطرفين المثبتة على الاناء الاسطوانى م المحتوى على الماء ومن أنبوبة ثانية ب مغلفة للاولى ومثبتة على نفس اناء م ومغلقة من طرفيها ولها ثلاث فتحات ا و ى يوضع فى الاولى سدادة يمر من مركزها ساق ت للترمومتر الذى يبحث عن تعيين درجة ١٠٠ له وفى الثانية توفق أنبوبة من زجاج مَ محتوية على الزئبق معدّة لان تستعمل مانومترا لقياس شدة البخار فى الجهاز والفتحة الثالثة ى تخدم لتصاعد البخار والماء الناشئ عن التكثف فاذا وضع الجهاز على فرن وسخن حتى يغلى الماء ارتفع البخار المتولد من اناء م فى انبوبة ا ورجع بين الانبوبتين كما يبينه السهمان الى فتحة ى ومنها يتصاعد فى الجوّ وحيث ان الترمومتر محاط حينئذ بالبخار فيتمدد الزئبق الموجود فيه ومتى صار ثابتا تعلم

فى

فى نقطة ا التى يقف فيها علامة وهى نقطة ١٠٠ المبحوث عنها

والذى أضاف الغلاف الثانى ب للجهاز هو المعلم رينيول لمنع الانبوبة المركزية من أن تبرد بسبب ملامستها للهواء

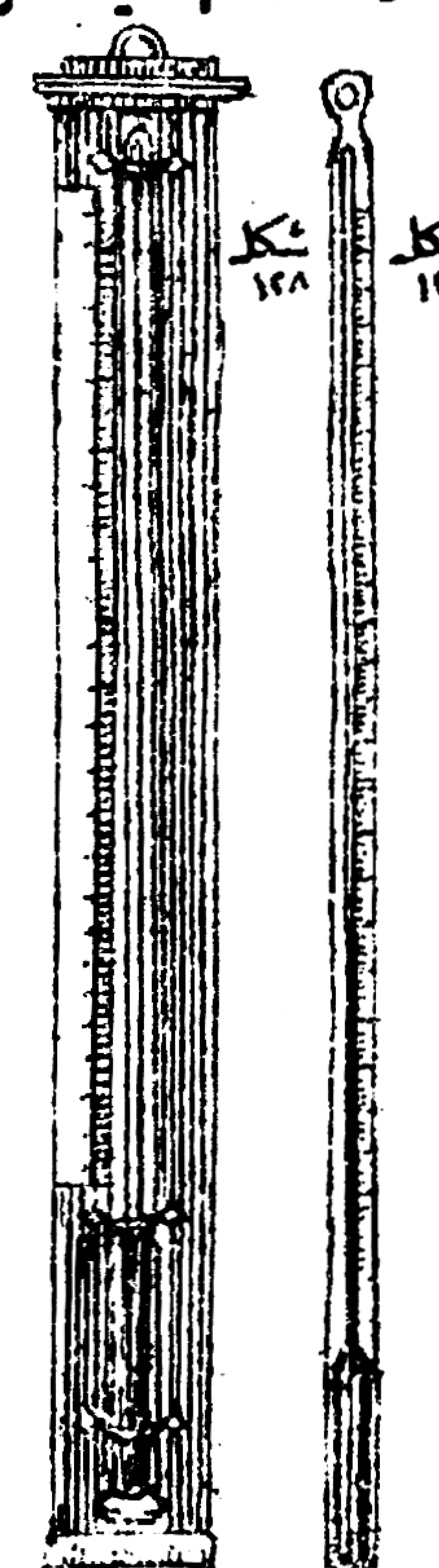
ويلزم فى مدة تعيين نقطة المائة هذه أن يكون ارتفاع البارومتر ٧٦ر٠ مترا لانه متى زاد هذا الارتفاع أو نقص عن ٧٦ر٠ مترا لا تزيد درجة الغلى أو تنقص فقط عن درجة المائة بل تزيد حرارة البخار نفسها أو تنقص بكمية متساوية ويمكن الحصول على درجة المائة بالضبط مهما كان ضغط الجو بالتعديل الآتى فقد ظهر من التجربة انه متى ارتفع الزئبق أو انخفض فى البارومتر ٢٧ ميليمتر زادت أو نقصت درجة الغلى درجة واحدة أعنى $\frac{١}{٢٧}$ من درجة من الميليمتر وبناء على ذلك اذا كان ارتفاع البارومتر مثلا ٧٦٦ ميليمتر فى الزمن الذى تؤخذ فيه نقطة المائة كانت زيادة الضغط عن ٧٦ ستة ميليمتر ولا يكون عدد الدرجات المقابلة لقمة عمود الزئبق فى الترمومتر ١٠٠ بل يكون $١٠٠ + \frac{١}{٢٧} \times ٦ = ١٠٠ + \frac{٢}{٩}$ واذا كان ارتفاع البارومتر ٧٧٨ فانه يزيد عن ٧٦٠ ميليمتر بقدر ١٨ ميليمتر وهى ثلثا هذا العدد ٢٧ ويغلى الماء فى مائة درجة وثلثى درجة فيجب حينئذ أن يكتب فى محل استواء الزئبق فى الترمومتر $١٠٠ + \frac{٢}{٩}$ فى المثال الاول و $١٠٠ \times \frac{٢}{٣}$ فى المثال الثانى

وقد شاهد غيلوساك أن الماء يغلى فى أوانى الزجاج بحرارة أعظم بقليل من الحرارة التى تلزم لغليه فى الاوانى المعدنية وشاهد أيضا أن الماء المحلول فيه أملاح يغلى بحرارة أعظم من الحرارة التى تكفى لغليه اذا كان نقيا فاختاروا الى الآن أنه يشترط لتعيين نقطة المائة فى الترمومترات استعمال اناء معدنى وماء مقطر غير أنه تبين من استكشاف المعلم روديرك السويدى أنه لا فائدة فى هذين الشرطين لانه عرف أن مادة الاناء والاملاح المحلولة فى الماء تؤثر تأثيرا عظيما فى درجة غليان الماء لا فى درجة البخار الناتج منه أعنى أنه اذا كانت درجة الماء أكثر من ١٠٠ بأحد السببين المذكورين تكون درجة بخاره ١٠٠ اذا كان الضغط ٧٦ر٠ مترا وحينئذ لا يشترط لتعيين نقطة المائة للترمومتر استعمال الماء المقطر ولا اناء معدنى بل يكفى أن يكون الضغط ٧٦ر٠ مترا أو يعمل التعديل المتقدم مع غمر الترمومتر بتمامه فى البخار لا فى الماء المغلى

والحاصل أنه ولو استعمل الماء المقطر لا ينبغى غمر مستودع الترمومتر فى الماء المغلى لان سطحه هو الذى يكون فى درجة المائة فقط وتأخذ الحرارة فى الازدياد من طبقة الى طبقة جهة قاعدته بسبب زيادة الضغط

تكوين الدرج أى رسمه متى تحصلت النقطتان الثابتتان تقسم المسافة التى بينهما ١٠٠ جزء متساوية السعة تسمى بالدرجات ويداوم على هذا التقسيم أعلى درجة المائة وأسفل الصفر ثم تكتب على مسطرة من خشب او على لوح من معدن مثبت عليه الترمومتر كما فى شكل ١٢٨

فاذا كانت أنبوبة الترمومتر تامة الاسطوانية من الداخل كفى لرسم الدرجات تقسيم المسافة التى بين الصفر والمائة مائة جزء متساوية لكن حيث انّ هذا الشرط غير متوفر غالبا فيلزم تقسيم الانبوبة الى أجزاء متساوية السعة كما تقدم فى تقسيم الانبوبة الى أجزاء متساوية السعة وتعدّ الاجزاء المحصورة بين النقطتين الثابتتين ويقسم عددها ١٠٠ فيتحصل عدد الاقسام المساوية للدرجات ويبين محل كل درجة بالابتداء من الصفر



وفى الترمومترات المضبوطة ترسم الدرجات على نفس زجاج الساق كما فى شكل ١٢٩

وحينئذ فلا تتزحزح ويبقى طولها ثابتا حيث ان الزجاج قليل التمدّد جدا

ولاجل تحصيل علامات ثابتة على الزجاج يغطى ساق الترمومتر وهو ساخن بطبقة خفيفة من الورنيش ثم بواسطة قطعة مدببة من الفولاذ يبين على الورنيش علامات الدرجات وكذا الارقام المناظرة لها ويعرّض الساق لبخار حمض الفلورايدريك مدة عشر دقائق تقريبا فيؤثر على الزجاج ويحفر العلامات فى جميع الاجزاء التى أزيل عنها الورنيش فتظهر الدرجات والارقام

وتتعين الدرجات بصفر يوضع على يمين العدد الذى يبين درجات الحرارة ولاجل تمييز درجات الحرارة تحت الصفر

الصفر عن الدرجات التي أعلى منه يقدم عليها علامة ـ ناقص فكتابة ١٥ ـ تدل على ١٥ درجة تحت الصفر

(المبحث الخامس في الدرجات المختلفة للترمومترات)

يميز في تدريج الترمومترات ثلاث درجات الدرجات المائينية ودرجات ريومور ودرجات فارانهيت فالدرجات المائينية هي التي ذكرناها وهي المستعملة في فرانسا وتنسب الى سيلسيوز الطبيعي السويدي الذي مات سنة ١٧٤٤ وفي الدرجات الثانية التي اختارها ريومور الطبيعي الفرنساوي سنة ١٧٣١ تقابل النقطتان الثابتتان أيضا درجة الجليد الذائب ودرجة الماء المغلي لكن المسافة بينهما مقسمة ٨٠ درجة أعني أن الثمانين درجة لريومور تساوي ١٠٠ درجة مائينية والدرجة من ريومور تساوي حينئذ $\frac{١٠٠}{٨٠}$ او $\frac{٥}{٤}$ درجة مائينية والدرجة المائينية تساوي $\frac{٨٠}{١٠٠}$ او $\frac{٤}{٥}$ درجة من ريومور وبناء على ذلك لاجل تحويل عدد من درجات ريومور الى الدرجات المائينية كعشرين درجة مثلا يلزم ضرب هذا العدد في $\frac{٥}{٤}$ وحيث ان الدرجة من ريومور تساوي $\frac{٥}{٤}$ درجة مائينية فالعشرون درجة من ريومور تساوي من الدجات المائينية ٢٠ مرة $\frac{٥}{٤}$ او ٢٥ ويشاهد أيضا أنه لتحويل الدرجات المائينية الى درجات ريومور يلزم ضربها في $\frac{٤}{٥}$ درجة

واختار فارانهيت سنة ١٧١٤ درجات ترمومترية مستعملة في الهولاند وفي الانكليز وفي امريقا الجنوبية والنقطة الثابتة العليا لهذه الدرجات تقابل أيضا درجة الماء المغلي لكن الصفر يقابل درجة برد متحصلة من خلط أوزان متساوية من ملح النوشادر المبشور والثلج وتقسم المسافة بين النقطتين الثابتتين ٢١٢ درجة

ويوضع ترمومتر فارانهيت في الجليد الذائب يعلم ٣٢ درجة فبناء على ذلك المائة درجة مائينية تساوي من درجات فارانهيت ٢١٢ ـ ٣٢ أو تساوي ١٨٠ والدرجة المائينية تساوي حينئذ $\frac{١٨٠}{١٠٠}$ او $\frac{٩}{٥}$ من درجات فارانهيت ودرجة فارانهيت تساوي $\frac{١٠٠}{١٨٠}$ او $\frac{٥}{٩}$ من درجة مائينية فاذا أريد تحويل عدد من درجات فارانهيت الى الدرجات المائينية كخمسة وتسعين مثلا يلزم أولا حذف ٣٢ من العدد المعلوم ليصير حساب نوعي الدرجات من نقطة واحدة من الساق فيكون الباقي هنا ٦٣ وحيث ان

درجة فارانهيت تساوى $\frac{5}{9}$ من درجة مائينية فالثلاثة وستون درجة من درجات فارانهيت $= \frac{5}{9} \times ٦٣$ أو ٣٥ درجة مائينية

(المبحث السادس فى تغير محل صفر الترمومتر)

الترمومترات المصنوعة باعظم تدقيق يعتريها خطأ معرفته مهمة وهو أن الصفر مع طول الزمن يميل لان يرتفع ارتفاعا يصل فى بعض الاحيان الى درجتين أعنى أنه بغمر الترمومتر بعد عمله باربعة أشهر أو خمسة فى الجليد الذائب لا ينزل الزئبق الى صفره أصلا وقد قيل فى سبب ذلك ان الترمومتر من حيث انه خال عن الهواء ينقص حجم المستودع من الضغط الظاهرى لكن شوهد أن الترمومتر المحتوى على الهواء أو المفتوح من طرف ساقه ينتقل صفره كما فى الترمومتر الفارغ وفسر انتقال الصفر الآن بفعل جزيئى يكابده زجاج المستودع متى وصل لدرجة غليان الزئبق وبرد بسرعة لانه ينتج من ذلك نوع سقى به يزيد حجم المستودع وبسبب رجوعه ثانيا شيأ فشيأ لحجمه الاصلى يوجد الصفر مرتفعا

فمن المهم حينئذ متى أريد قياس الحرارة بالضبط التحقق أولا من محل وضع الصفر فى الترمومتر الذى يقصد استعماله

(المبحث السابع فى حدّى استعمال الترمومتر للقياس)

حيث ان الزئبق يغلى فى درجة ٣٥٠ ويتجمد فى درجة ٤٠ ـ فهذان الحدان هما حينئذ اللذان لا ينبغى مجاوزتهما فى استعمال الترمومتر الزئبقى لكن دلت التجربة على أن تمدد الزئبق لا يكون منتظما أعنى متناسبا مع شدّة الحرارة الا من درجة ٣٦ ـ الى ١٠٠ درجة + وفيما بعد ذلك يزداد تمدّده من درجة ١٠٠ الى درجة ٣٥٠ وينشأ عن ذلك أن الترمومتر الزئبقى لا يعطى دلالات مضبوطة الا من درجة ٣٦ ـ الى درجة ١٠٠ + وفى الدرجات الكثيرة الارتفاع لا تكون دلالاته الا تقريبية ويمكن زيادة الغلط الى جملة درجات

وبالجملة فقد يحصل غالبا أن الترمومترين الزئبقيين المتوافقين فى الصفر وفى درجة ١٠٠ + لا يتوافقان فيما بين هذين الدرجتين ولو كانا موضوعين فى شروط واحدة وهذا ناشئ عن كون أنواع الزجاج ليس تركيبها الكيماوى واحدا وليست متساوية التمدد ويتبع ذلك ازدياد تمدد الزئبق على تمدد الزجاج

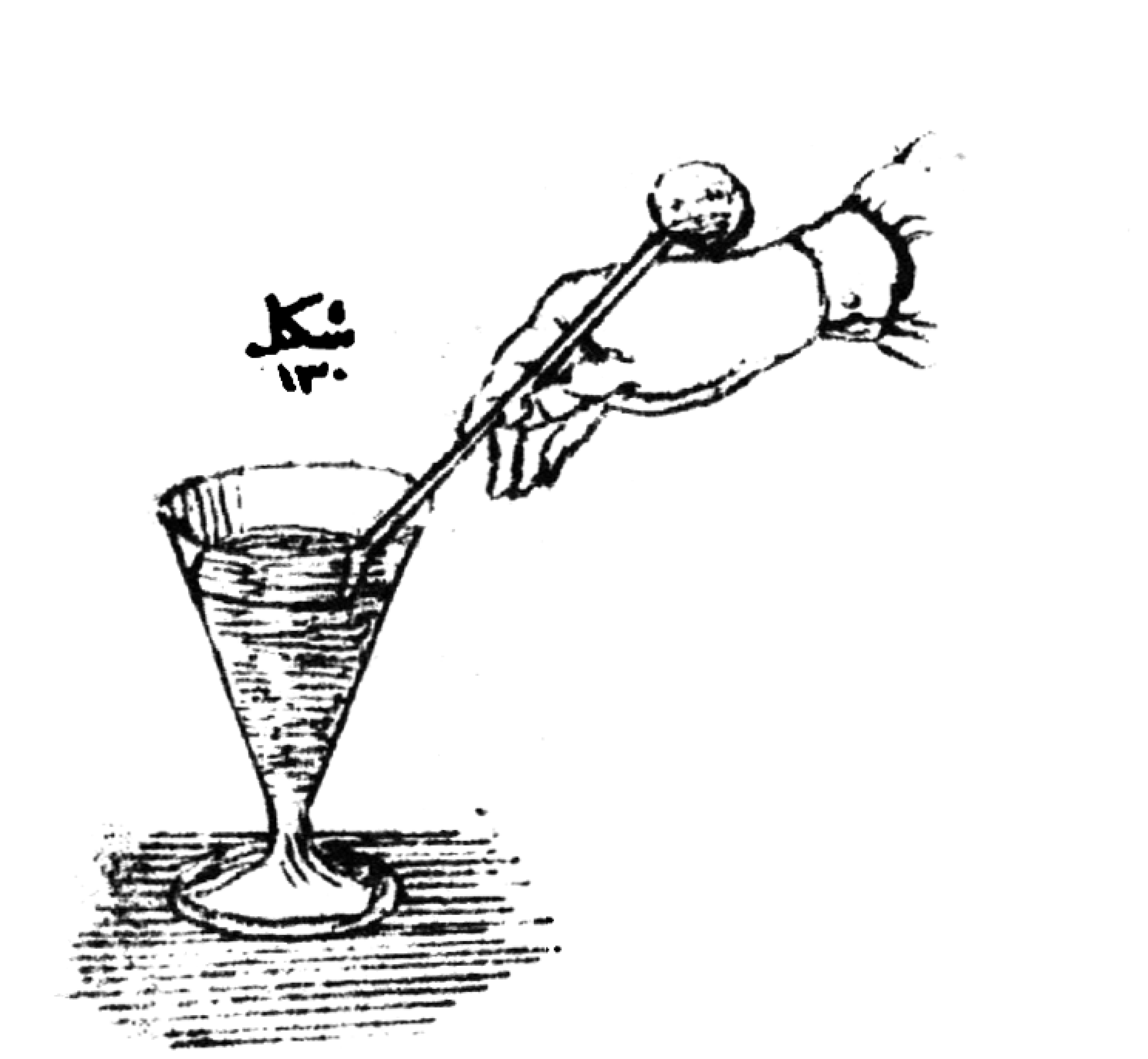
وعلى

وعلى كل متى كان الترمومتران متكونين من زجاج غير متماثل المادة فيوجد السبب الموقع فى الغلط الذى به لا يسيران معا

(المبحث الثامن فى الترمومتر الكؤلى)

الترمومتر الكؤلى لا يختلف عن الترمومتر الزئبقى الا بكونه ملآنا بالكؤل المتلون بالحمرة عادة

وملؤه اكثر بساطة من ملء الترمومتر الزئبقى وكيفية ذلك أن يسخن المستودع تسخينا لطيفا على المصباح لاخراج كمية قليلة من الهواء ثم يغمر طرف الساق المفتوح فى الكؤل الملون بالحمرة فبالبرودة ينقبض الهواء الباقى فى المستودع وتصعد فيه كمية قليلة من الكؤل بضغط الجو كما فى شكل ١٣٠



وبتسخينه حينئذ لدرجة الغلى تجذب أبخرة الكؤل المتصاعدة جميع الهواء الموجود فى المستودع وفى الساق ويكفى حينئذ بعد زمن يسير من الغلى قلب الترمومتر بسرعة وغمر طرفه ثانيا فى الكؤل فيتكثف البخار يحصل الفراغ فى باطنه ويمتلئ المستودع والساق بتأثير ضغط الجو

وبتسخين الكؤل الذى دخل فى المستودع يتصاعد الهواء الذى كان محلولا فيه وتظهر كرات صغيرة غازية فلاجل اخراجها تربط الانبوبة من طرفها بخيط صغير وتحرك حركة دورية سريعة فبتأثير القوة المركزية الطاردة ينضغط الكؤل جهة الكرة أى المستودع ويطرد منها الفقاعات الهوائية وأخيرا يسخن الترمومتر تسخينا لطيفا الى أن يخرج منه نصف أو ثلثا السائل المنحصر فى الساق ثم يلحم طرف الساق على المصباح لكن مع الاحتراس لترك هواء فيه فائدته أن يؤخر بقوة مرونته درجة غليان الكؤل ويمنع تجزأ عمود السائل الى جملة أجزاء عند ميل الانبوبة

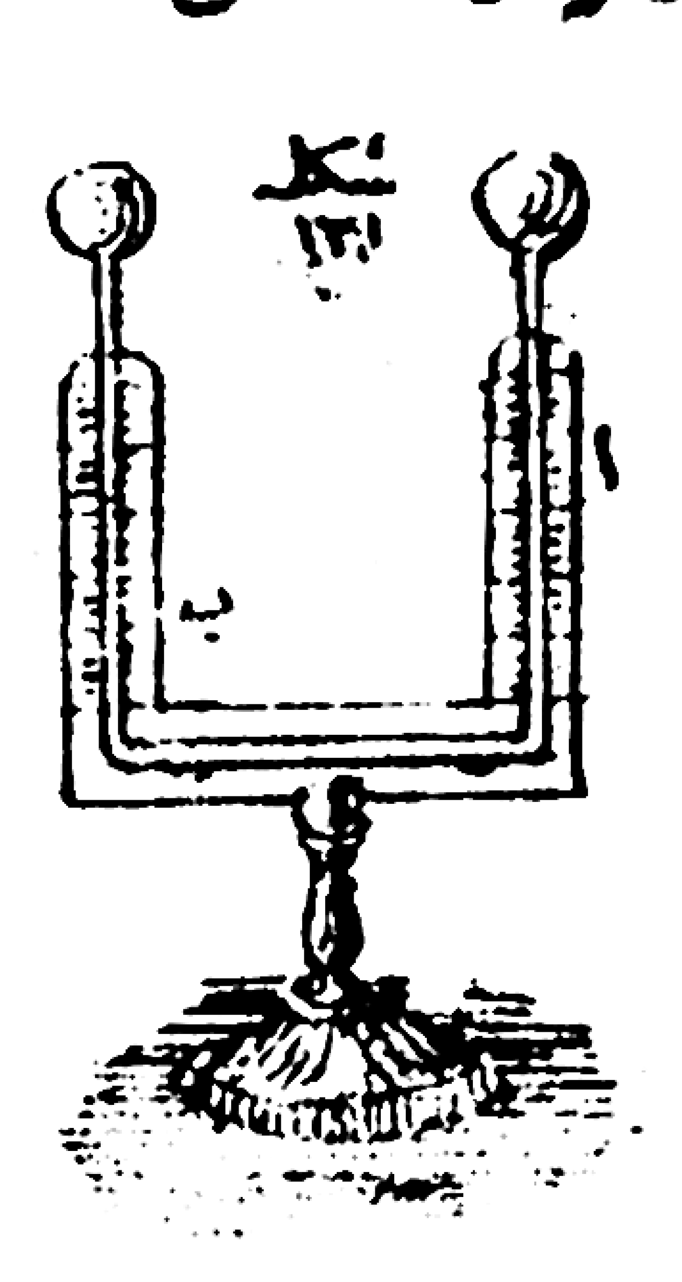
بقى تدريج الترمومتر حيث ان تمدد السوائل يقل انتظامه كلما قربت من درجة غليانها فالكؤل الذى يغلى فى درجة ٧٨ يتمدد بغير انتظام فيما بين الصفر والمائة بحيث

اذا عينت له النقطتان الثابتتان كما فعل فى الترمومتر الزئبقى وقسمت المسافة بينهما ١٠٠ درجة تحصل ترمومترلا يكون متوافقا مع الترمومتر الزئبقى الافى الصفر وفى درجة ١٠٠ ويخالفه فيما بين هاتين النقطتين بجملة درجات ويشاهد أنه لا يبين الا ٤٤ درجة متى بين الترمومتر الزئبقى ٥٠ درجة

فالواجب حينئذ لتدريج الترمومتر الكؤلى أن يقابل سيره بسير الترمومتر الزئبقى المجعول أنموذجا ولاجل ذلك يسخن الاثنان معا بالتدريج فى حمام وتعلم على الترمومتر الكؤلى الدرجات التى يبينها الترمومتر الزئبقى وبتدريج الترمومتر الكؤلى هكذا يكون متوافقا مع الترمومتر الزئبقى أعنى أنه يعطى عين الدرجات متى وضع فى نفس الشروط والترمومتر الكؤلى مستعمل بالخصوص لقياس الدرجات المنخفضة جدا لان الكؤل لا يتجمد بأعظم برودة عرفت ومع ذلك فالكؤل فى درجة الحرارة المنخفضة جدا ينفصل جزء منه ماء ويصير السائل شرابى القوام وزيادة على ذلك حيث ان أنواع الكؤل المختلفة ليست متماثلة يشاهد أن بين الترمومترات الكؤلية المعرضة لدرجة برودة واحدة اختلاف درجات كثيرة ولاجل تدارك هذين الضررين استعوض الكؤل بكربور الكبريت الذى هو سائل لا يحتوى على ماء ويحفظ سيولة واحدة فى أعظم درجة منخفضة لكن بين المعلم ازيدور أن السوائل التى يجب تفضيلها هى الاتير المعتاد وكلورور الاتيل

(المبحث التاسع فى الترمومتر الهوائى أى الاختلافى المنسوب الى ليلى)

صنع ليلى ترمومترا هوائيا معدا لمعرفة اختلاف حرارة نقطتين متقاربتين ومن ذلك سمى بالترمومتر الاختلافى



وتتركب هذه الآلة من كرتين متساويتين من زجاج ملآنتين بالهواء ومنضمتين بانبوبة منحنية ذات قطر صغير مثبتة على لوح كما فى شكل ١٣١

وقبل غلق الجهاز يدخل فيه مقدار من سائل ملون كاف لملء الشعبة الافقية ونصف الشعبتين الرأسيتين تقريبا ويعتنى بانتخاب سائل لا يعطى أبخرة فى درجات الحرارة المعتادة ولذلك يستعمل حمض الكبريتيك المتلون بالحمرة وبعد غلق الجهاز يمرر الهواء من احدى الكرتين

الى

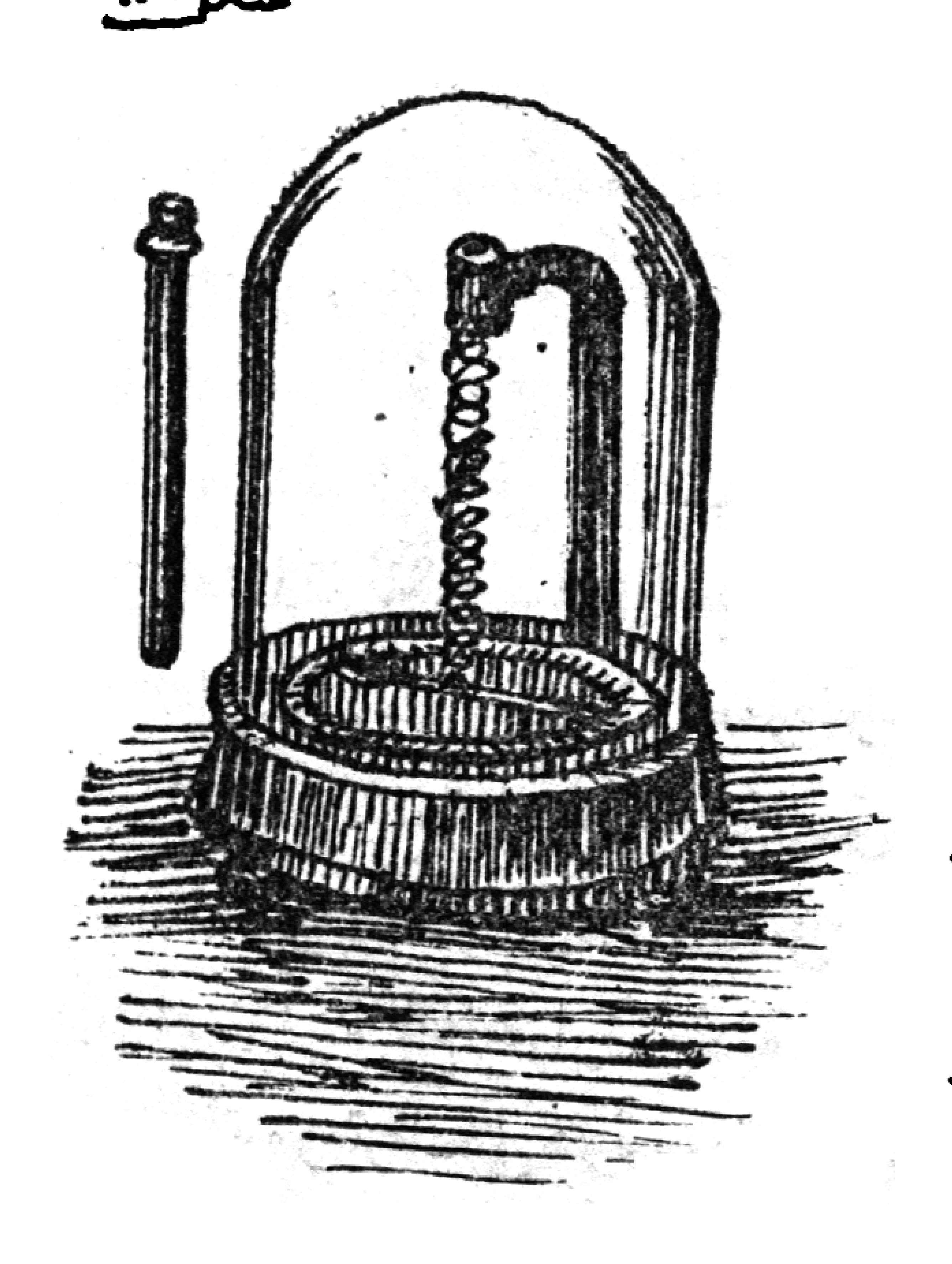
الى الاخرى بتسخينهما بغير مساواة حتى انه بعد فعل بعض تحسيسات ورجوع الكرتين لدرجة حرارة واحدة يصير الاستواء واحدا فى الشعبتين الراسيتين فحينئذ يعلم الصفر فى محاذاة كل طرف من عمودى السائل ولاجل تتميم التدريج توضع احدى الكرتين فى حرارة تزيد عشر درجات عن حرارة الكرة الاخرى فيتمدد هواء الكرة الاولى و يطرد عمود السائل با الذى يرتفع فى الشعبة الاخرى ومتى وقف ارتفاع هذا العمود يعلم ١٠ على كل جهة فى النقطة التى يقف فيها استواء السائل ثم تقسم المسافتان من الصفر الى العشرة عشرة أجزاء متساوية ويداوم على التقسيم أعلى وأسفل الصفر بطول الشعبتين

(المبحث العاشر فى الترمومتر المعدنى المنسوب الى بريجيه)

ابراهيم بريجيه الساعاتى بباريس اخترع ترمومترا مؤسسا على اختلاف تمدد المعادن معتبرا بقوة احساسه

وتتركب هذه الآلة من ثلاث صفائح موضوعة على بعضها من البلاتين والذهب والفضة تلحم ببعضها فى جميع طولها ثم تفوت من المصفاح بحيث تصير شريطا معدنيا رقيقا جدا ثم يلف هذا الشريط على هيئة حلزون كما يظهر من شكل ١٣٢

شكل ١٣٢

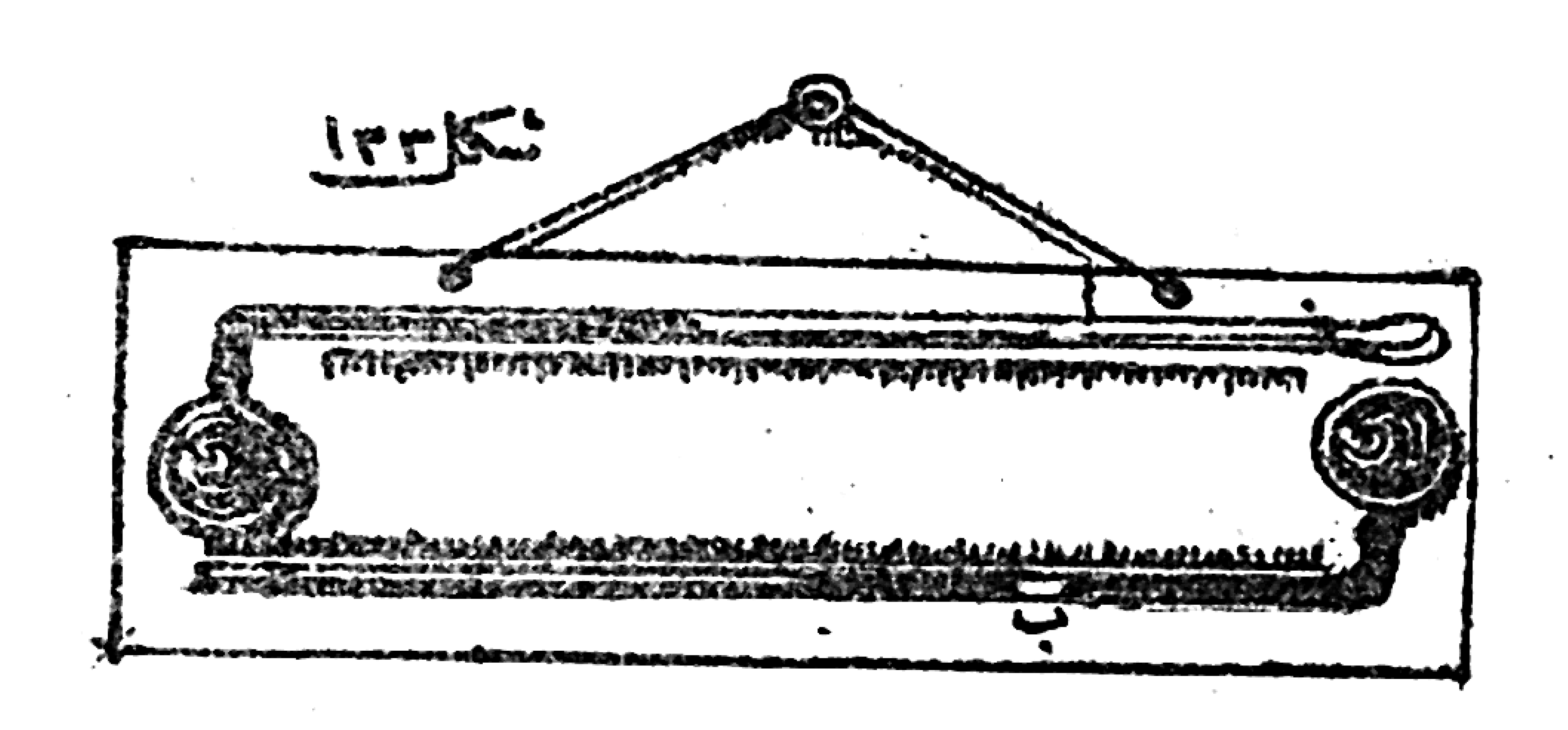


ثم بعد تثبيت طرفه العلوى فى حامل يعلق فى طرفه الثانى ابرة خفيفة من النحاس تتحرك حركة خالصة على برواز أفقى مدرج درجات مائينية والفضة التى هى أكثر المعادن الثلاثة قبولا للتمدد تكون الوجه السفلى للحلزون والبلاتين الذى هو أقل قبولا للتمدد يكون الظاهر والذهب يكون بين الاثنين فمتى ارتفعت الحرارة تمددت الفضة أكثر من البلاتين والذهب وأدارت الحلزون من اليسار الى اليمين بالنسبة للشكل المذكور ويحصل الفعل بالعكس متى انخفضت الحرارة وانما وضع الذهب فى الوسط لكون

تمدده متوسطا بين تمدد الفضة والبلاتين واذا استعملت الفضة والبلاتين وحدهما أمكن من اختلاف تمددهما أن يحدث الكسر وهذا الترمومتر يدرج بمقابلته بالترمومتر الزئبقي المعتاد والساق المعدني المبين على يسار الشكل المذكور يوضع في محور الحلزون ليمسكه ويمنع تغير شكله عند نقل الآلة

(المبحث الحادي عشر في ترمومتر الزيادة والنقصان)

من الضروري في مشاهدة الحوادث الجوية معرفة أعظم ارتفاع درجة حرارة اليوم وأعظم انخفاض درجة حرارة الليل وحيث ان الترمومترات المعتادة لا يمكنها أن توصل لمعرفة هاتين الدرجتين الا بمشاهدات مستمرة وهذا غير مقدور عليه بالكلية فاخترعت لذلك عدة آلات أبسطها ترمومتر روتيرفورد وهو مركب من ترمومترين سوقهما منحنية انحناء أفقيا ومثبتين بحذاء بعضهما على لوح قائم الزوايا كما في شكل ١٢٣



أحدهما ا زئبقي والثاني ب كؤلي وفي الترمومتر الزئبقي اسطوانة صغيرة ا من الحديد تنزلق خالصة في الانبوبة وهذه الاسطوانة المستعملة علامة حيث انها ملامسة لطرف عمود الزئبق والآلة موضوعة أفقيا تنطرد أمام الزئبق متى تمدد بارتفاع الحرارة وتقف حالا بمجرد انقطاع تمدد الزئبق لكنها تسكن في محلها من الساق متى انقبض الزئبق لانه لا يوجد ميل بين هذا السائل والحديد والنقطة التي تقف فيها العلامة تبين حينئذ أعظم ارتفاع الحرارة الحادثة وفي الشكل المذكور تبين العلامة ٣١ درجة تقريبا والترمومتر السفلي هو ترمومتر النقصان والسائل المنحصر فيه كؤل وفيه تنغمر بتمامها اسطوانة صغيرة من المينا ب معدة لأن تستعمل علامة فاذا انخفضت درجة الحرارة

وكانت الاسطوانة فى طرف عمود السائل فبانقباض هذا السائل يجذب معه الاسطوانة بقوة الميل بينهما وتتقدم هكذا الى النقطة التى يحصل فيها نهاية انقباض واذا ارتفعت درجة الحرارة تمددا الكؤل ومر بين جدران الانبوبة والعلامة بدون أن تنتقل من محلها وبناء على ذلك فطرف العلامة المضادّ للمستودع يبين أنزل درجة وصلت اليها الآلة وهى فى الشكل المذكور ½ ٩ –

(المبحث الثانى عشر فى البيرومتر)

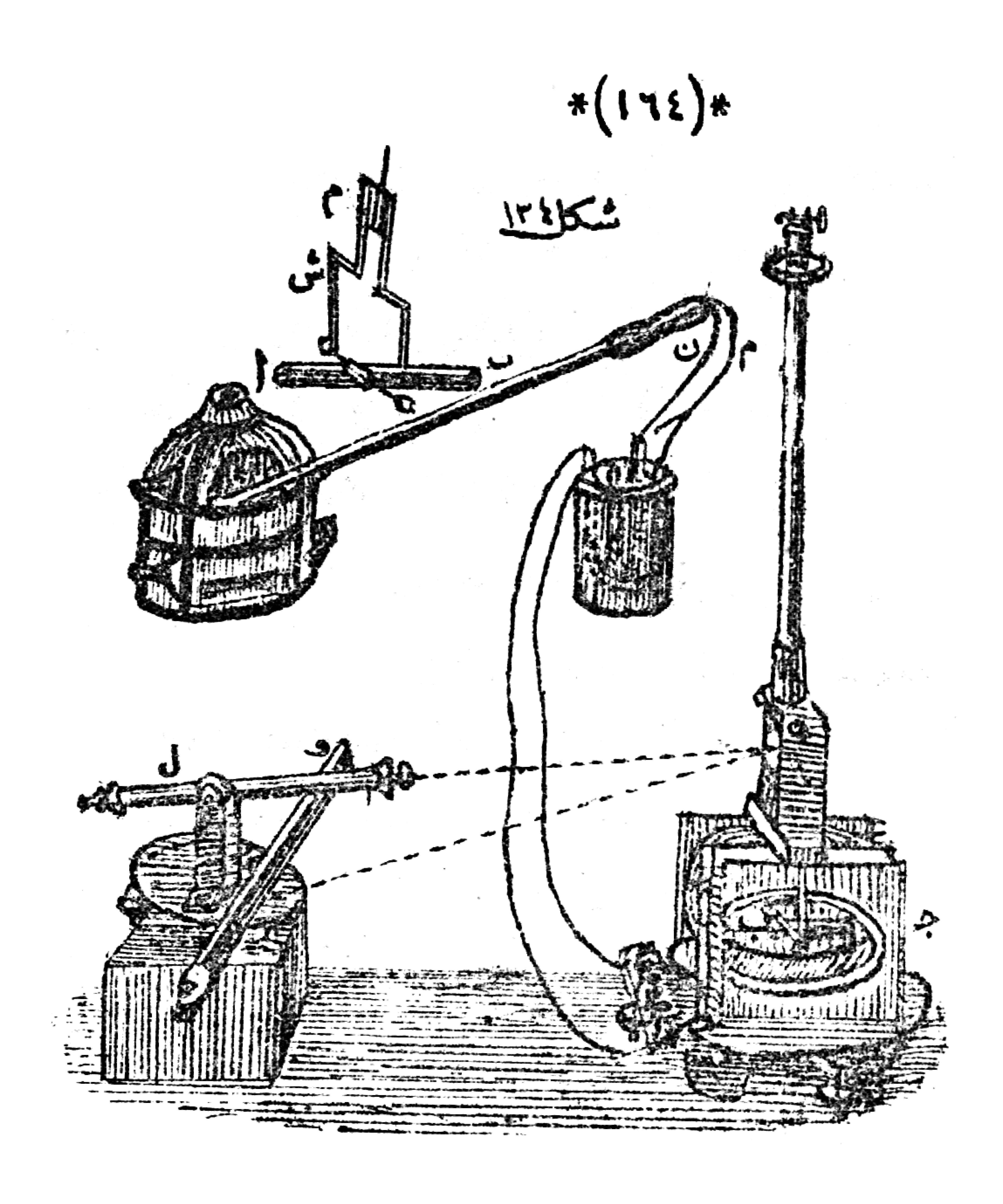
يعطى اسم بيرومتر للآلات المخصوصة لقياس الدرجات المرتفعة ويعطى أحيانا اسم بيرومتر للجهاز الموضح فى شكل ١٢٠ السابق المعد لاظهار التمدد الخطى للعادن لكنه بالنظر لكيفية تركيبه ليس هو فى الحقيقة الا آلة معدة لقياس الحرارة التشععية وقد صنع برونيار فى سيفر لفوريقة الصينى بيرومترا مشابها للجهاز المتقدم المعد لاظهار التمدد الخطى للعادن وترك استعماله فى سيفر حتى فى مدة حياة مخترعه لانه لم يعط دلالات مضبوطة

وذكر وازمنا طو بلا فى دروس الطبيعة بيرومتر ويدوود المؤسس على خاصية انكماش الطفل متى وصل لدرجة حرارة مرتفعة وهذه الآلة ليست ناقصة الضبط فقط بل ليست متماثلة لان الطفل الذى تصنع منه ليس متماثلا

والبيرومتر الذى يظهر الضبط هو فقط البيرومتر الهوائى المنسوب الى رينيول والبيرومتر الكهربائى المنسوب الى بكريل وهو الذى نذكره فى هذا المختصر

(المبحث الثالث عشر فى البيرومتر الكهربائى)

لما ثبت عند بكريل من التجارب العديدة أن زوج البلاتين والبلاديوم أى اجتماعهما هو الذى تظهر دلالاته انتظاما كثيرا وفق هذين المعدنين لتركيب البيرومتر الكهربائى ويتركب جهاز بكريل من سلكين أحدهما من البلاتين والآخر من البلاديوم وكلاهما طوله متران وقطاعه واحد مليمتر مربع وأطرافهما ليست ملحومة بل منضمة فقط بقوة بسلك رفيع من البلاتين وسلك البلاديوم منحصر فى أنبوبة رقيقة من الصينى وسلك البلاتين خارجها والجميع موضوع فى أنبوبة ب من الصينى أيضا واسعة كما فى شكل ١٢٤



وطرف سلك البلاتين هو الذى يوضع فى المحل الذى يبحث عن حرارته ويخرج من الطرف الآخر للانبوبة سلكا البلاتين والبلاديوم م ن ويلحمان مع سلكى النحاس الموصلين التيار الى المانيتومتر ج ويكون كل من لحام هذين السلكين مع سلكى م ن منحصرا فى أنبوبة من زجاج مغمورة فى الجليد لمنع تولد أدنى تيار و يجعل هذين اللحامين فى درجة حرارة واحدة لا يتولد أدنى تيار والمانيتومتر المنسوب الى ڤيربير ليس هو الا جلوانومتر مكبر كثير الاحساس ويتركب من قضيب ممغطس اب موضوع فى دائر من نحاس أحمر يلطف حركاته محمول بالحامل ش المعلق فى خيط طويل من البلاتين رفيع جدا ومثبت على الحامل مرآة م تدور مع القضيب معدة لان تعطى بالانعكاس صورة الاقسام المرسومة على المسطرة الافقية الموضوعة بعيدا وتشاهد هذه الاقسام بواسطة نظارة ل

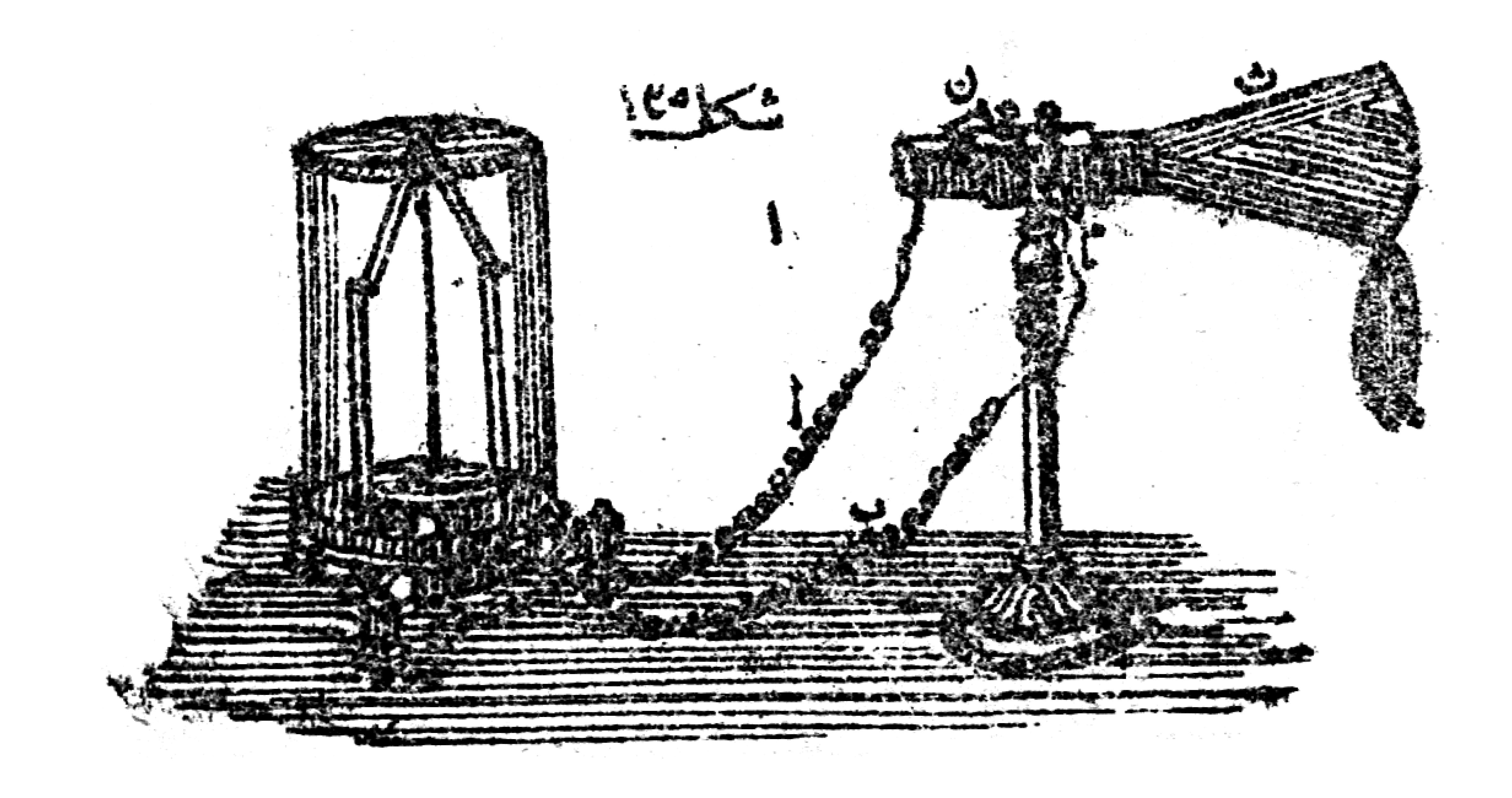
ولاجل ذلك يلزم قبل مرور التيار أن يؤتى بصورة صفر المسطرة المتحركة فى خيط

النظارة

النظارة وحينئذ فاقل زوغان للمرآة يعطى صورة القسم الاكثر ارتفاعا و يتبع ذلك زاوية تباعد القضيب المغطس وهى زاوية صغيرة دائما ولا تزيد على ثلاث درجات أو أربع و يتحصل هذا بوضع البوبين فى دورة التيار ومتى علمت زاوية التباعد يستنتج منها شدة التيار وحرارة سلكى البلاتين والبلاديوم بواسطة الجداول البيرومتريكية وتصنع هذه الجداول بالمشاهدات متى علمت الشدة المقابلة لحرارتين قريبتين من الحرارة التى يقصد مشاهدتها (انظر مشاهدات سنة ١٨٦٤ السنوية فى حافظة الفنون والصنائع) ودلالات البيرومتر الكهربائى وصلت لغاية ١٢٠٠ درجة وهى درجة ذوبان البلاديوم

(المبحث الرابع عشر فى الترمومتر الكهربائى)

الترمومترات المختلفة التى ذكرناها الى هنا مؤسسة على تمدد الاجسام لكن الحرارة تولد أيضا ظواهر كهربائية بواسطتها يمكن تعيين درجات الحرارة ونذكر آلة من هذا الجنس كثيرة الاحساس تسمى ترموموليتبليكا تورنظريتها مؤسسة على الظواهر المغناطيسية والظواهر الكهربائية وهى تتركب كما فى شكل ١٣٥



من اجتماع الجلوانومتر مع العمود الحرارى الكهربائى ويخرج من زرى م ن من العمود سلكان من النحاس يصلان الى زرين آخرين مثبتين خارج قفص الجلوانومتر والسلك الاوّل يلامس طرف الدورة الجلوانومترية والثانى يلامس طرفها الآخر

وينتج من ذلك أنه متى تولد التيار الحرارى الكهربائى فى العمود يتجه الى الجلوانومتر بأحد السلكين ا و ب ليرجع من السلك الآخر وقبل مرور التيار فى الدورة الجلوانومترية يعتنى بتنظيم وضع الجهاز بحيث يكون سلكا الدورة موازيين لاتجاه الابرة الممغطسة والذى يعرفنا اتجاه التيار بعد ذلك زوغان قطب الابرة الجنوبى الى المغرب أو الى المشرق اذا حصل تسخين أو تبريد

وأما كمية الحرارة التى يقبلها أو يفقدها العمود فتقاس بعدد درجات تباعد الابرة جهة المغرب أو المشرق عن وضعها الاوّل وفى الواقع قد عرف من التجربة أنه لغاية ٢٠ درجة من الجلوانومتر يكون زوغان الابرة مناسبا لكمية الحرارة الواقعة على العمود وأما الزوغان الاكثر من ذلك فمذكور فى مبحث الجلوانومتر وبالخصوص كيفية عمل الجداول التى تعطى شدّة الحرارة المقابلة للزوايا المختلفة لتباعد الابرة

ولاجل حجز الاشعة الحرارية خلاف الاشعة التى يقصد دراستها يوضع على وجه العمود المعرض لمنبع الحرارة أو البرودة مخروط من نحاس ث مسود الباطن والحجاب الحاجز المستدير الذى ينخفض ويرتفع على حسب الارادة يستعمل لمرور الحرارة أو منعها

ولاجل تسهيل دراسة التشعع أضاف ميلونى الطليانى الى هذا الجهاز جملة قطع اضافية تنبيه هذا الجهاز فى الحقيقة ترمومتر اختلافى أعنى أنه لا يعطى حرارة محل معين من وسط وضع فيه بل الاختلاف بين حرارة هذا المحل وحرارة محل قريب منه

(الفصل الثانى فى تمدّد الاجسام الصلبة وفيه مباحث)

(المبحث الاوّل فى التمدّد الخطى والتمدّد الحجمى ومكرر التمدّد)

قد ذكرنا فيما تقدّم أنه يميز فى الاجسام الصلبة نوعان من التمدد وهما التمدّد الخطى أى الطولى والتمدّد الحجمى ومكرر التمدّد الخطى هو الاستطالة التى تأخذها وحدة الطول لجسم متى ارتفعت درجة حرارته من الصفر الى درجة فوق الصفر ومكرر التمدد الحجمى

هو

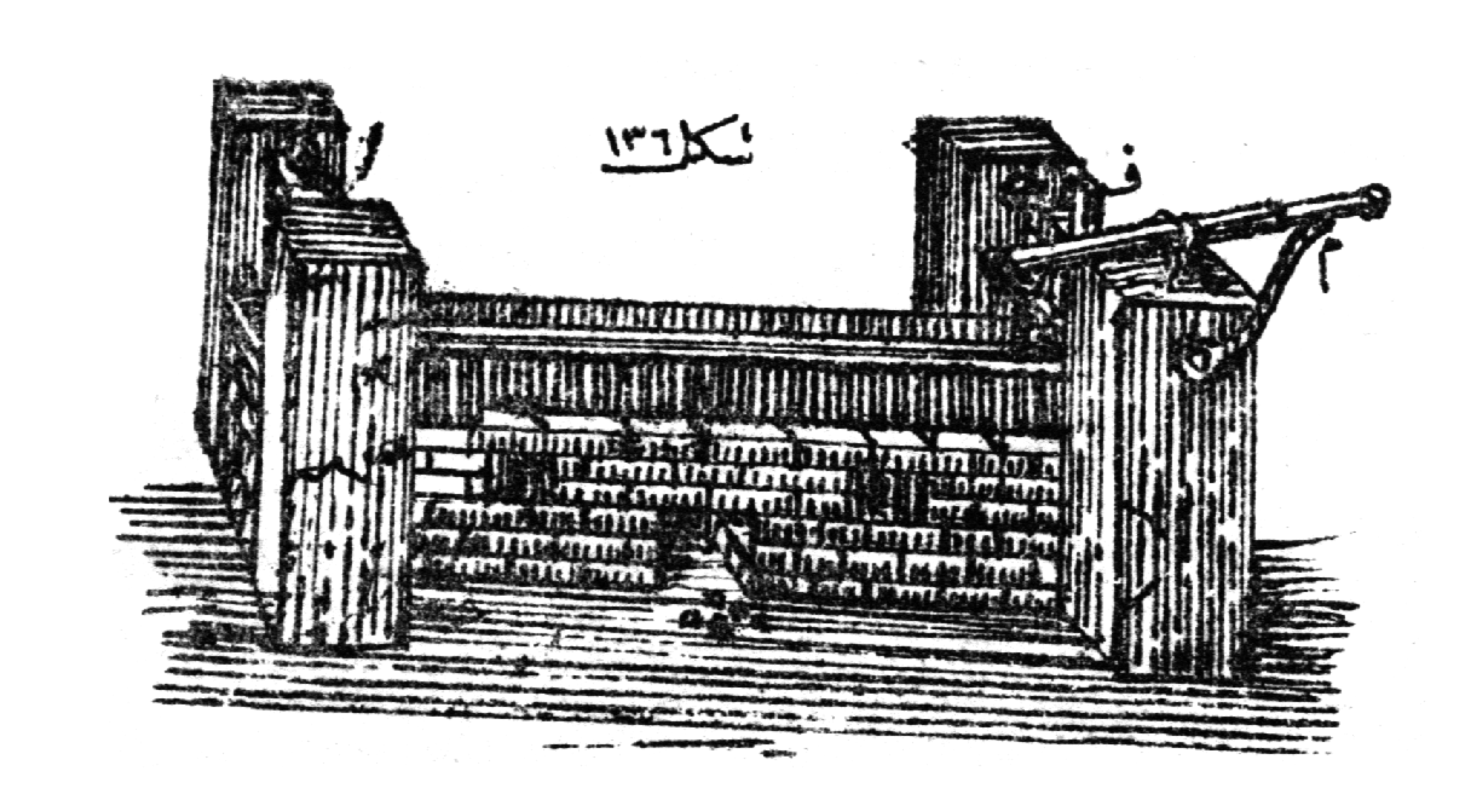
هو الزيادة التي تأخذها وحدة حجم الجسم متى ارتفعت درجة حرارته من الصفر الى درجة فوق الصفر وهذان المكرران يختلفان باختلاف الاجسام لكنهما في الجسم الواحد توجد بينهما هذه النسبة البسيطة وهي أن مكرر التمدد الحجمي يساوي ثلاثة أمثال مكرر التمدد الخطي وحينئذ متى علم أحد المكررين يتعين الآخر بضرب المعلوم في ٣ أو بقسمته عليها ولاجل اثبات أن مكرر التمدد الحجمي يساوي ثلاثة أمثال مكرر التمدد الخطي نفرض مكعبا أحد أضلاعه يساوي ١ في الصفر فاذا رمز بحرف ط للطول الذي يأخذه هذا الضلع بانتقاله من الصفر الى درجة فوق الصفر صار طوله في الدرجة المذكورة ١ + ط وحجم المكعب الذي كان واحدا في الصفر يصير في درجة واحد فوق الصفر هكذا

(١ + ط)^{٣} أعني ١ + ٣ ط + ٣ ط^{٢} + ط^{٣} وحيث ان الطول ط هو دائما

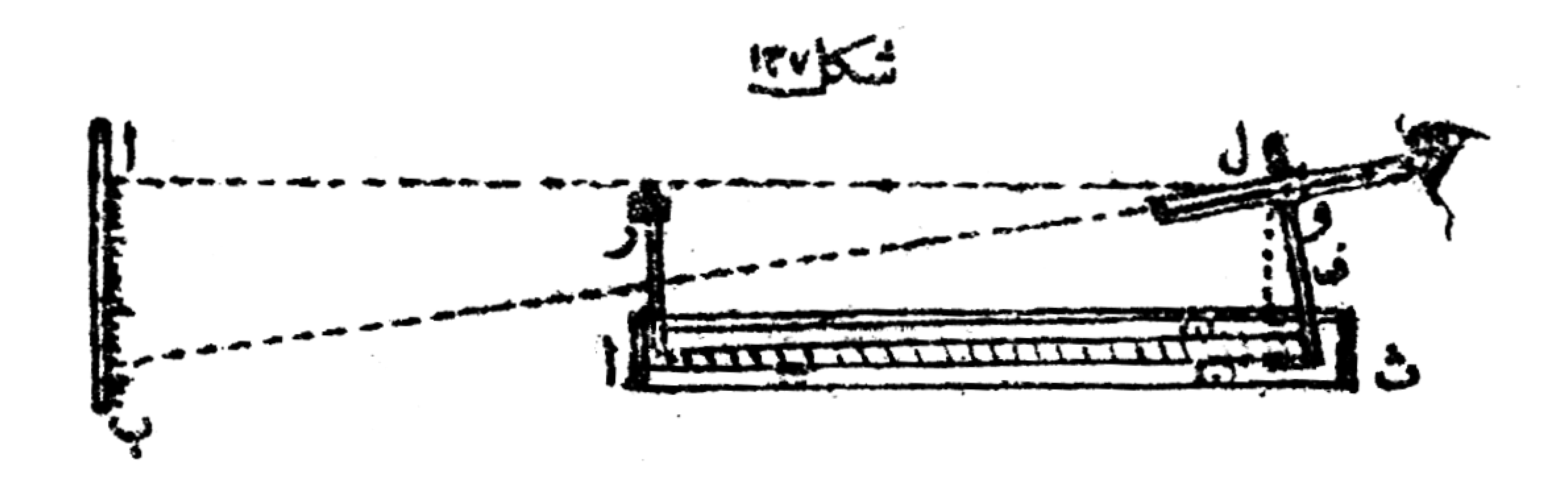
كسر صغير جدا فمربعه ط^{٢} ومكعبه ط^{٣} يكونان كسرين صغيرين جدا لا يؤثر حذفهما في قيمة الكسور الاعشارية الدالة على مكرر التمدد الحجمي الاقليلا جدا فحينئذ يمكن حذفهما وبهذا يصير الحجم في درجة واحد هكذا ١ + ٣ ط تقريبا فظهر من هذا أن ازدياد الحجم يساوي ٣ ط أعني ثلاثة أمثال مكرر التمدد الخطي وثبت أيضا أن مكرر التمدد الظاهري ضعف مكرر التمدد الخطي

(المبحث الثاني في قياس مكرر التمدد الخطي بطريقة لاڤوازييه ولابلاس)

اخترعت أجهزة مختلفة لقياس مكرر التمدد الخطي نذكر منها الجهاز الذي استعمله لاڤوازييه ولابلاس الموضح منظوره في شكل ١٣٦ وقطاعه في شكل ١٣٧



شكل ١٣٧



وهو يتركب من حوض من نحاس موضوع على فرن بين أربع كتل من الحجر وبين الكتلتين الشاغلتين يمين الشكل محور أفقي مار منه مسطرة من الزجاج ف ومثبت في طرف هذا المحور ذراع م يدور معه معدّلتدو ير نظارة ل المتحركة على محورين وأمّا الكتلتان الاخريان فثبت فيهما قطعتان من الحديد مثبت فيهما مسطرة ثانية من زجاج ر وبالجملة ففي الحوض حمام من الماء أو الزيت يوضع فيه قضيب ا ث المراد قياس مكرر تمدّده

فهذا القضيب حيث ان أحد طرفيه ملامس لمسطرة الزجاج ر وطرفه الآخر لمسطرة ف فلا يمكنه الاستطالة الا في اتجاه ا ث لان المسطرة ر مثبتة في الكتلة الحجر ولاجل تسهيل حركة تمدد القضيب يوضع على اسطوانتين من الزجاج وبالجملة فيوجد في النظارة خيط أفقي يمشي عدّة أقسام على مسطرة ا ب العمودية الموضوعة في بعد ٢٠٠ متر متى دارت النظارة بعض زاوية

اذا تقرر ذلك فيوضع أوّلا الجليد في الحوض وحيث ان القضيب في الصفر فيلاحظ القسم الذي تقابل خيط النظارة معه على مسطرة ا ب ثم ينزع الجليد ويملأ الحوض بالماء أو الزيت (والزيت يمكنه أن يصل الى درجة عالية) ويسخن فيتمدّد القضيب حينئذ ومتى صارت درجة الحمام ثابتة فانها تعين بواسطة الترمومترا المغمور فيه ثم يعين القسم من المسطرة المقابل لخيط النظارة كذلك وبواسطة هذه المعاليم تستنتج بعد ذلك استطالة القضيب

وفي الواقع حيث ان القضيب استطال بمقدار ن ث فقد اندفعت أي تأخرت مسطرة ف وجذبت معها ذراع م والعدسة ومال محورها البصري في اتجاه و ب وحيث ان مثلثي و ن ث و و ا ب متشابهان لأن أضلاعهما متعامدة ينتج ان $\frac{ن ث}{ا ب} = \frac{و ن}{و ا}$

وكذلك

وكذلك اذا رمزنا بحرفى ن ثَ لاستطالة ثانية وبحرفى ا بَ للزوغان المقابل لتلك الاستطالة يحصل $\frac{ن ثَ}{ا بَ} = \frac{و ن}{و ا}$ ويشاهد من ذلك أن نسبة استطالة القضيب الى زوغان العدسة ثابتة حيث انها تساوى دائما $\frac{و ن}{و ا}$ وحيث ثبت بتجربة أوليه فعلت على قضيب ثان أطول من القضيب الاول بمقدار معلوم أن هذه النسبة كانت $\frac{١}{٧٤٤}$ يحصل حينئذ أن $\frac{ن ث}{ا ب} = \frac{١}{٧٤٤}$ وينتج من ذلك أن ن ث = $\frac{ا ب}{٧٤٤}$ أعنى أن الاستطالة الكلية للقضيب تحصل بقسمة المسافة المقطوعة بخيط النظارة على المسطرة المدرجة على ٧٤٤ ومتى علمت هذه الاستطالة فبقسمتها على طول القضيب وهو فى الصفر مضروب فى درجة حرارة الحمام يحصل تمدد وحدة الطول لدرجة واحدة أعنى مكرر التمدد الخطى

وهاك جدولا يتضمن مكرر التمدد الخطى فى كل درجة من الدرجات التى بين الصفر والمائة للاجسام الكثيرة الاستعمال فى الصنائع

أسماء الاجسام	مكرر التمدد
زجاج أبيض	٠,٠٠٠٠٠٨٦١٣
بلاتين	٠,٠٠٠٠٠٨٨٤٢
فولاذ غير مسقى	٠,٠٠٠٠١٠٧٨٨
حديد زهر	٠,٠٠٠٠١١٢٥٠
حديد مطاوع مطروق	٠,٠٠٠٠١٢٢٠٤
فولاذ مسقى	٠,٠٠٠٠١٢٣٩٥
ذهب	٠,٠٠٠٠١٤٦٦٠
نحاس أحمر	٠,٠٠٠٠١٧١٨٢
توج	٠,٠٠٠٠١٨١٦٧
نحاس أصفر	٠,٠٠٠٠١٨٧٨٢
فضة	٠,٠٠٠٠١٩٠٩٧

قصدير ٠,٠٠٠٠٢١٧٣٠
رصاص ٠,٠٠٠٠٢٨٥٧٥
خارصين ٠,٠٠٠٠٢٩٤١٧

وأما تعيين مكرر التمدد الحجمى فهو بمقتضى النسبة التى شوهد وجودها بينه وبين مكرر التمدد الخطى كما تقدم فى التمدد الخطى والتمدد الحجمى يستنتج من ضرب هذه الاعداد المذكورة فى ثلاثة ومع ذلك سنوضح عند الكلام على الترمومتر الثقلى طريقة دولونغ وبوتيت لتعيين مكرر التمدد الحجمى مباشرة

(المبحث الثالث فى ترايد مكرر التمدد مع ترايد درجة الحرارة)

ظهر من التجربة أن مكرر التمدد الخطى للمعادن ثابت تقريبا فيما بين الصفر ودرجة مائة أعنى أنه يمكن أن يقال بدون غلط محسوس أن الطول يزداد بمقدار كسر واحد فى عدد واحد من الدرجات عن الطول الذى كان فى درجة الصفر لكن بمقتضى تفتيشات دولونغ وبوتيت يصير مكرر التمدد عظيما فيما بين درجة ١٠٠ و ٢٠٠ ويزداد أيضا فيما بين درجة ٢٠٠ و ٣٠٠ وهكذا الى درجة الذوبان وانما يستثنى الصلب المسقى فقط لان مكرر تمدده ينقص متى زادت الحرارة عن بعض حد

(قوانين مختصة بتمدد الاجسام الصلبة)

ليكن ل طول قضيب فى درجة الصفر و لَ طوله فى درجة ت و ك مكرر تمدده الخطى فتتعين النسبة التى توجد بين هذه الكميات المختلفة بالقوانين الآتية

حيث ان الاستطالة المقابلة لدرجة واحدة مقدرة بحرف ك فتكون الاستطالة المقابلة لدرجة ت ك ت لوحدة الطول ومن ذلك يكون ك ت ل لوحدة ل ويصير حينئذ طول القضيب الذى كان ل فى الصفر ل + ك ت ل فى درجة ت

ويتنتج من ذلك أن لَ = ل + ك ت ل (١)

واذا وضع ل مضروبا مشتركا يصير لَ = ل(١ + ك ت) (٢)

والقانون الثانى يستعمل لايجاد طول لَ فى درجة ت متى علم طول ل فى درجة الصفر بقسمة العددين على (١ + ك ت) ويستنتج من ذلك ل = لَ / (١ + ك ت) (٣)

وهذا

وهذا القانون الاخير يستعمل لايجاد الطول فى الصفر متى علم طول لَ فى درجة ت
وأخيرا اذا وضعنا فى القانون الاوّل ل فى الطرف الاوّل وقسمنا الطرفين على ت ل نجد

أنّ ك = $\frac{\text{لَ} - \text{ل}}{\text{ت ل}}$ (٤)

وهذا القانون يستعمل لمعرفة مكرر التمدد ك متى علم لَ و ل و ت
واذا اعتبرنا التمدد الحجمى بدل التمدد الخطى نجد قوانين مشابهة للقوانين المذكورة
ولاجل ذلك ليكن ح حجم الجسم فى درجة الصفر و حَ حجمه فى درجة ت وكح مكرر
تمدده الحجمى الذى هو ثلاثة ك كما تقدم فنجد بنفس البراهين السابقة حَ = ح (١ +
كح ت) (٥) و ح = $\frac{\text{حَ}}{\text{١ + كح ت}}$ (٦)

وهذان القانونان يستعملان للانتقال من الحجم فى درجة الصفر الى الحجم فى درجة ت
ومن درجة ت الى درجة الصفر بوضع ٣ ك عوضا عن كح ويمكن أيضا كتابتهما
هكذا حَ = ح (١ + ٣ ك ت) (٥) و ح = $\frac{\text{حَ}}{\text{١ + ٣ ك ت}}$ (٦)

بعض مسائل مختصة بالتمدد المسئلة الاولى قضيب من الحديد طوله ٢,٦ متران فى
درجة الصفر فما يكون طوله فى درجة ٨٠ + والحال أن مكرر تمدد الحديد
٠,٠٠٠٠١٢٢

الجواب هذه المسئلة تحل بالقانون الثانى من قوانين التمدد بأن يفعل هكذا ل = ٢,٦
مترين و ت = ٨٠ و ك = ٠,٠٠٠٠١٢٢

ويتحصل من هذا أنّ لَ = ٢,٦ مترين (١ + ٠,٠٠٠٠١٢٢ × ٨٠) = ٢,٦
مترين × ١,٠٠٠٩٧٦ = ٢,٦٠٢٥ مترين اعنى أنّ الطول المبحوث عنه هو
٢,٦٠٢٥ مترين وتكون الاستطالة اثنين مليمتر ونصفا

المسئلة الثانية قضيب من النحاس طوله ٣,٤ مترا وهو فى درجة ٩٠ فما يكون
طوله فى درجة الصفر والحال أنّ مكرر تمدد النحاس ٠,٠٠٠٠١٧٢

الجواب هذه المسئلة تحل بالقانون الثالث من قوانين التمدد بأن يفعل هكذا لَ = ٣٫٤ مترا و ت = ٩٠ و ك = ٠٫٠٠٠٠١٧٢

وينتج من ذلك أن ل = $\frac{٣٫٤}{١ + ٠٫٠٠٠٠١٧٢ \times ٩٠}$ = $\frac{٣٫٤}{١٫٠٠١٥٤٨}$ = ٣٫٣٩٥ مترا

المسئلة الثالثة قضيب معدنى طوله لَ فى درجة ت فما يكون طوله ل فى درجة تَ والحال أن مكرر تمدده هو ك

الجواب هذه المسئلة تحل بالبحث عن طول القضيب فى درجة الصفر وهو $\frac{لَ}{١ + ك ت}$ بمقتضى القانون الثالث من قوانين التمدد ثم ينتقل من طوله فى الصفر الى طوله فى درجة تَ بواسطة القانون الثانى أعنى بأن يضرب فى ١ + ك تَ ما يعطى الطول المبحوث عنه

وهو ل = $\frac{لَ (١ + ك تَ)}{١ + ك ت}$

المسئلة الرابعة اذا قيس على درجة ت طول معلوم بمسطرة معدنية مقسمة ميليمترات ووجد أن هذا الطول يحتوى على ن من أقسام المسطرة وكانت هذه المسطرة قسمت فى درجة الصفر فما التصحيح الذى يفعل لاجل حساب تمددها من الصفر الى درجة ت

الجواب لاجل ذلك نعتبر أن كل قسم من أقسام المسطرة فى الصفر يساوى واحد ميليمتر وفى درجة ت يساوى كل قسم منها ١ + ك ت و ك هو مكرر تمدد المسطرة فالاقسام ن المتحصلة حينئذ لا تبين ن ميليمتر بل ن (١ + ك ت) وهو العدد الحقيقى بالميليمتر الموافق للطول الذى قيس

المسئلة الخامسة جسم كثافته د فى درجة الصفر فما تكون كثافته دَ فى درجة ت

الجواب يرمز لحجم الجسم فى درجة الصفر بواحد ولمكرر تمدده الحجمى بحرف كَ فيصير حجمه فى درجة ت ١ + كَ ت وحيث ان كثافة الجسم تكون على حسب عكس الحجم الذى يأخذه بتمدده فتصير النسبة منعكسة $\frac{دَ}{د}$ = $\frac{١}{١ + كَ ت}$

وينتج

وينتج من ذلك أنّ دَ = $\frac{د}{١ + كح ت}$

المسئلة السادسة كرة من زجاج حجمها فَ فى درجة ت فما يكون حجمها ف فى درجة الصفر

الجواب لاجل حل هذه المسئلة يفرض أنّ كرة الزجاج تتمدّد بتغير الحرارة المعينة بنفس الكمية التى تتمدّدها كرة من زجاج مصمتة مماثلة لها فى الحجم فاذا رمزنا حينئذ بحرف كح لكر التمدّد الحجمى للزجاج وبحرف ف لحجم الكرة فى الصفر يتحصل بمقتضى قانون (٥) من قوانين التمدّد فَ = ف + كح ف ت = ف (١ + كح ت) ينتج ف = $\frac{فَ}{١ + كح ت}$

(المبحث الرابع فى استعمال تمدّد الاجسام الصلبة)

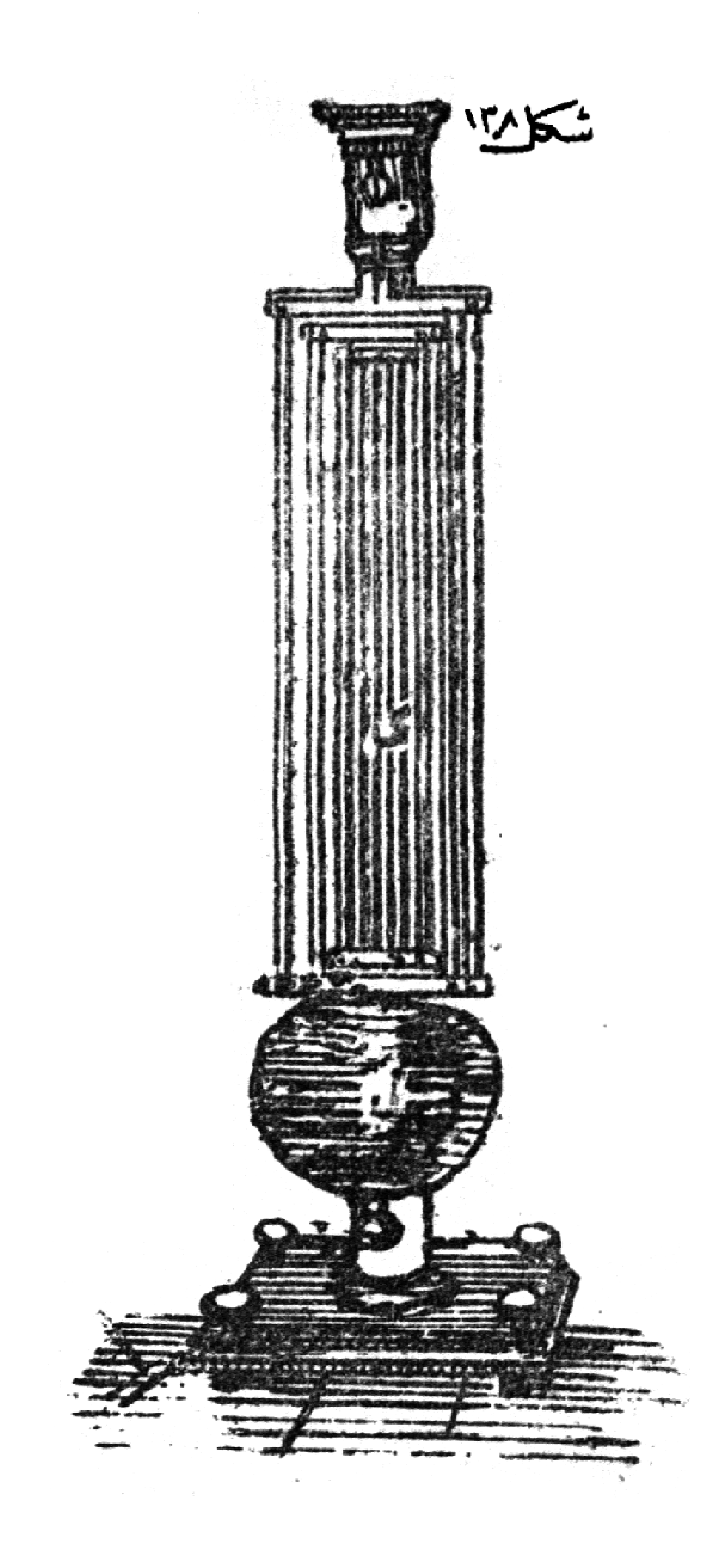
تمدّد الاجسام الصلبة يظهر استعمالات عديدة فى الصنائع منها أن مصبعات الافران مثلا لا ينبغى أن تكون أطرافها متعشقة بالضبط فى البنيان بل تكون خالصة ولو من أحد الاطراف والا فصلت بناء جدران الكوانين بقوة تمدّدها ومنها أنّ القضيب من الحديد اذا وضع بين جدارين وهو بارد ثم سخن بالنار أبعدهما واذا وضع وهو مسخن ثم برد قربهما وان كانا متينين ولذا أن طارات الحديد التى تحيط بعجل العربات توضع عليها وهى محماة لتضغط على دوائرها اذا بردت وبذلك تصير أثبت وأمتن عما لو وضعت وهى باردة ومنها أن أشرطة طرق الحديد التى تجرى عليها العربات يلزم أن تنتظم بحيث يكون بين أطرافها مسافة لتتمكن من التمدّد اذا حصل تغير فى درجة الحرارة فان لم يترك بينها مسافة انحنت من مسافة الى أخرى أو كسرت وساندها ومنها أنه اذا سخن أو برد اناء من زجاج دفعة انكسر وينسب ذلك الى كون الزجاج موصلا رديئا للحرارة فتسخن جدرانه أو تبرد بدون انتظام وينشأ عن ذلك تمدّدها او انقباضها بدون انتظام فيحدث الكسر ومنها الترمومتر المعدنى وتعديل البندول

(المبحث الخامس فى تعديل البندول)

اختلاف تمدّد المعادن له استعمال مهم فى تعديل البندول ويسمى بندولا معدّلا

البندول الذى تكون فيه استطالة الساق معدلة اذا ارتفعت درجة الحرارة بحيث تبقى المسافة بين مركز التعليق ومركز الذبذبة ثابتة وهذا هو الذى يلزم بمقتضى قوانين البندول حتى يكون الزمن ثابتا ويتمكن من استعمال البندول منظما للساعات

وقد وضعت جملة أجهزة لتعديل البندول والمختار منها على العموم الجهاز الموضح فى شكل ١٣٨ المنسوب لهارولواى



والعدسة ل فى هذا الجهاز عوضا عن أن تكون ممسوكة بساق واحدة هى ممسوكة بمتوازين قضبانهما الرأسية تكون على التوالى من الصلب ثم النحاس الاصفر

وقضبان الصلب فى هذا الشكل متميزة بكثرة تلونها وعددها ستة ومنضمة مع صفيحة من الفولاذ ب تحمل جميع البندول وتنحنى فى كل حركة والقضبان الاخر اربعة وهى من النحاس الاصفر والساق ى الحامل لعدسة ل مثبت من جزئه العلوى فى العارضة الافقية العليا وجزؤه السفلى الخالص يمر فى ثقبين مستدير ين مصنوعين فى العارضة الافقية السفلى

ويشاهد من كيفية ارتباط القضبان الرأسية ببعضها بواسطة العوارض الافقية أن استطالة القضبان الصلب لاتحصل الا من أعلى الى اسفل واستطالة قضبان النحاس تحصل من أسفل الى أعلى

وبناء على ذلك يلزم لاجل أن يبقى طول البندول ثابتا أن استطالة القضبان النحاس ترفع العدسة بالضبط بقدر الكمية التى تخفضها بها قضبان الصلب ويتحصل على هذه النتيجة باعطاء قضبان الحديد والنحاس الاصفر أطوالا على حسب عكس مكرر تمدد هذين المعدنين

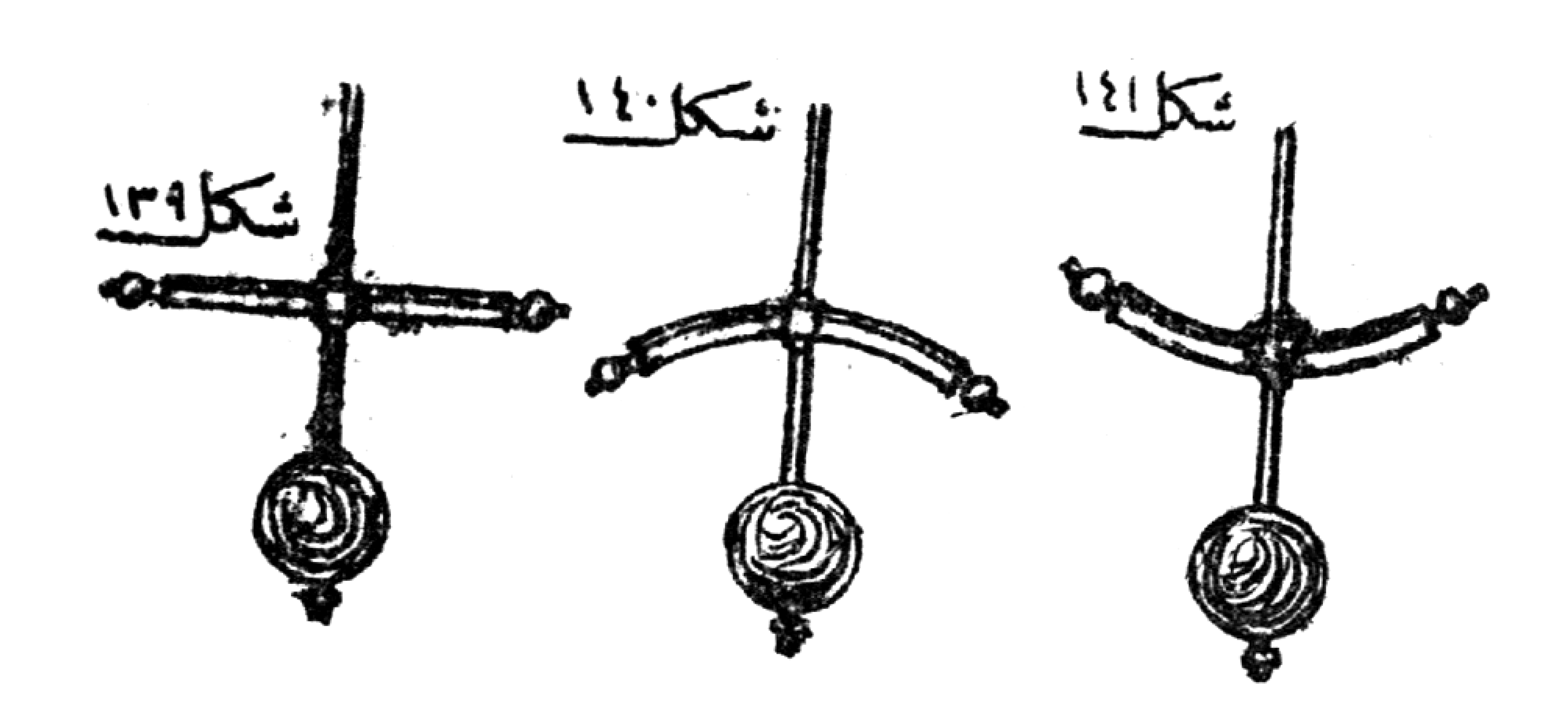
ويتوصل

ويتوصل أيضا الى تعديل استطالة ساق البندول بواسطة الصفائح المعدلة ويعطى هذا الاسم لصفيحتين من النحاس والحديد ملحومتين معا ومثبتتين فى ساق البندول كما يتضح من شكل ١٣٩

وصفيحة النحاس الاكثر تمددا تكون أسفل صفيحة الحديد فمتى انخفضت الحرارة قصر ساق البندول وارتفعت العدسة لكن تنحنى الصفيحة المعدلة حينئذ كما يظهر من شكل ١٤٠

وينسب ذلك لانقباض النحاس أكثر من الحديد بحيث تنخفض الكرتان المعدنيتان الموضوعتان فى طرفى الصفيحة ويحصل التعديل بين النقط القريبة من مركز التعليق والنقط البعيدة عنه اذا كانت كتل الكرتين متناسبة وبهذا لا يتحول مركز الذبذبة

واذا ارتفعت درجة الحرارة نزلت العدسة لكن تصعد الكرتان كما يظهر من شكل ١٤١ ويحصل التعديل أيضا



(الفصل الثالث فى تمدد السائلات وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى التمدد الظاهرى والتمدد الحقيقى)

لا يعتبر فى السائلات الا التمدد الحجمى الذى ينقسم الى تمدد حقيقى والى تمدد ظاهرى فالتمدد الظاهرى هو الزيادة التى يأخذها حجم السائل المنحصر فى ظرف يتمدد أقل من

هذا السائل لتمدد الزئبق والكؤل فى الترمومترات والتمدد الحقيقى هو الزيادة الحقيقية التى يأخذها الحجم من السائل بقطع النظر عن تمدد الظرف

ويصير تأثير تمدد الظرف محسوسا بغمر ترمومتر ذى مستودع كبير ملآن لنصف ساقه بالكؤل الملون فى ماء ساخن كما فى شكل ١٤٢

فعند وضع المستودع فى الماء ينخفض الكؤل فى الانبوبة من ب الى ا وهذا ناشئ فى الحقيقة عن تمدد جدران الظرف لكن اذا استمر غمر المستودع سخن الكؤل وصعد بمقدار مساو لتمدده الحقيقى ناقص تمدد الظرف

شكل ١٤٢

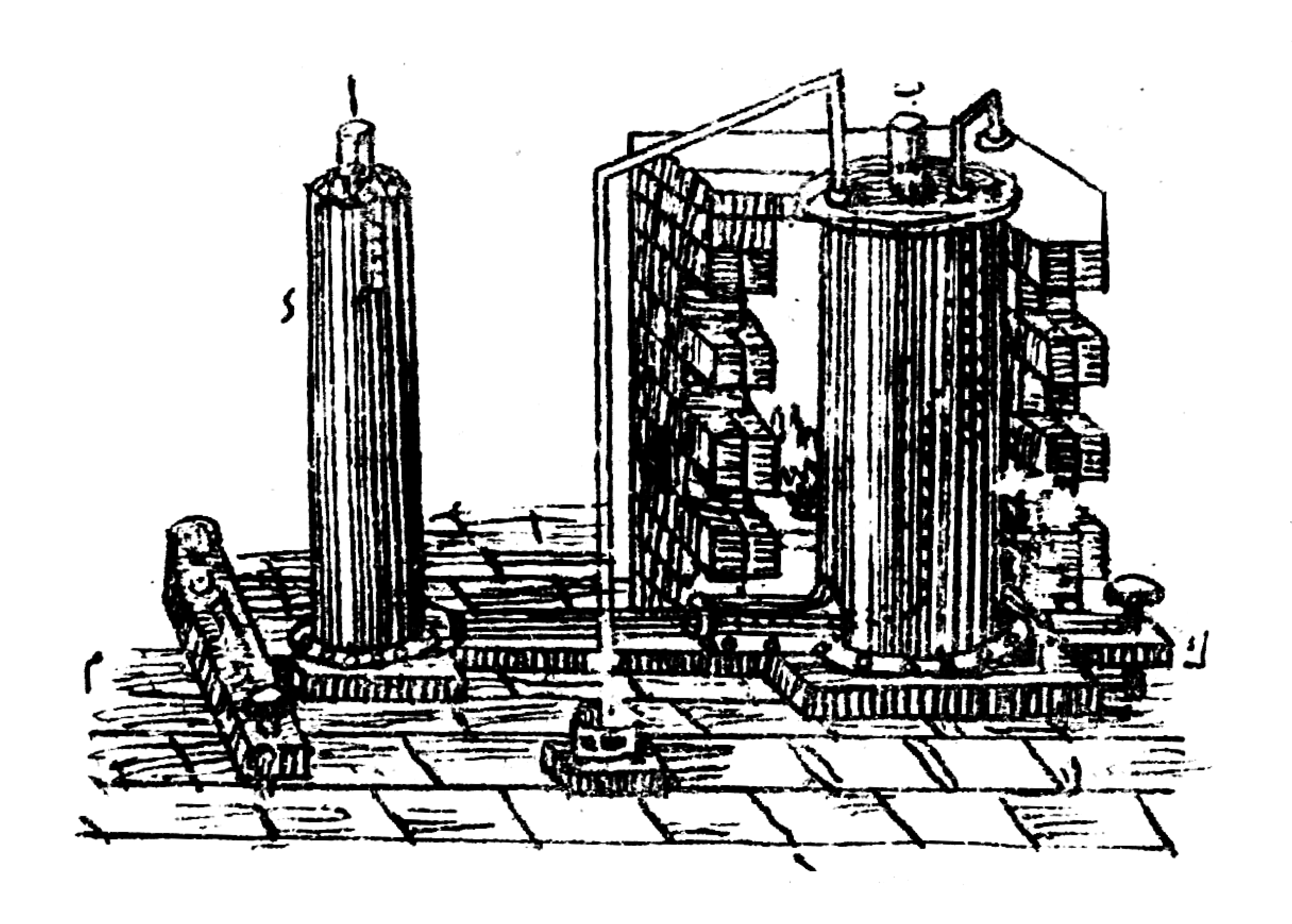
ومكرر التمدد لسائل هو الزيادة التى تزيدها وحدة الحجم متى ارتفعت درجة الحرارة من الصفر الى درجة فوق الصفر كما تقدم فى الجوامد لكن يميز حينئذ مكرر تمدد ظاهرى ومكرر تمدد حقيقى واستعملت جملة طرق لتعيين مكرر التمدد الظاهرى والحقيقى لم نذكر منها الا الطريقة التى استعملها دولونغ وبوتيت

(المبحث الثانى فى مكرر التمدد الحقيقى للزئبق)

لاجل تعيين مكرر التمدد الحقيقى للزئبق يلزم اجتناب تأثير تمدد الظرف وتوصل دولونغ وبوتيت لهذا باستنادهما على قاعدة الايدروستاتيك وهى أن ارتفاع السائلين المحدثين للموازنة فى اناءين مستطرقين ببعضهما يكون على حسب عكس كثافتهما وهذه القاعدة غير متعلقة بقطرى الاناءين ولا بتمددهما

ويتركب جهاز دولونغ وبوتيت من أنبوبتين من زجاج ا و ب شكل ١٤٣ منضمتين

شكل ١٤٣



منضمتين بأنبوبة شعرية وممسوكتين رأسيا على حامل من حديد ك م يعطى له الوضع الافقى بواسطة برم ضاغطة ومن ميزانى تسوية ذواتى كرة هوائية م ون وكل من الانبوبتين مغلف بغلاف معدنى أصغرهما د ملآن بالجليد المجروش والآخر بزيت يسخن بالتدريج بواسطة فرن صغير ثم تملأ أنبوبتا ا و ب بالزئبق الذى يأخذ استواء واحدا متى كانت الانبوبتان فى حرارة واحدة لكنه يرتفع فى أنبوبة ب بمجرّد تسخينها اذا تقرّر ذلك فليكن ش ارتفاع الزئبق فى أنبوبة ا أعلى محور الانبوبة الافقية فى درجة الصفر و د كثافته وليكن شَ و دَ رمزا لنفس المقادير فى أنبوبة ب فى درجة ت فبمقتضى قاعدة الايدروستاتيك المذكورة يصير شَ دَ = ش د وحيث ان $\text{دَ} = \frac{\text{د}}{\text{١ + ك ت}}$ (كما تقدّم فى المسئلة الرابعة من مسائل التمدّد) و ك هى مكرر التمدّد الحقيقى للزئبق فبتعويض د بقيمتها فى المعادلة المذكورة يوجد أنّ $\frac{\text{شَ د}}{\text{١ + ك ت}} = \text{ش د}$ وينتج من ذلك أنّ $\text{ك} = \frac{\text{شَ} - \text{ش}}{\text{ش ت}}$ وبهذا القانون

الاخير يوجد مكرر التمدد الحقيقي للزئبق متى قيس ارتفاعا ش و شَ لهذا السائل في الانبوبتين وكذا درجة ت للحمام الذي غمرت فيه أنبوبة ب

وكان قياس هذه الدرجة في تجربة دولونغ و بوتيت بالترمومتر الثقلي ب الذي ينصب زئبقه في جفنة ث و بالترمومتر الهوائي ت الملآن بالهواء الجاف ومنته بأنبوبة طويلة شعرية تنغمر في حوض ر الملآن بالزئبق فبمجرد ارتفاع درجة الحمام الزيتي يتمدد الهواء في هذا الترمومتر و يصعد من الانبوبة ثم بتى انقطع التسخين انقبض الهواء و بانقباضه ينصب زئبق الحوض في مستودع الترمومتر فاذا برد المستودع الى الصفر بغمره في الجليد علم من وزن الزئبق الذي دخل فيه حجم الهواء الذي خرج منه و بعد ذلك استنتج درجة الحرارة التي وصل اليها الترمومتر بواسطة معادلة حَ = ح (١ + ك ت) الآتية في تمدد الغازات وأما ارتفاعا ش و شَ فيقاسان بواسطة الكاتيتومتر و بهذه الطريقة وجد دلونغ و بوتيت أن مكرر التمدد الحقيقي للزئبق فيما بين الصفر ودرجة ١٠٠ $\frac{١}{٥٥٥٠}$ لكنهما لاحظا أن هذا التمدد يزداد مع ازدياد الحرارة و يكون متوسط مكرر التمدد فيما بين درجة ١٠٠ ودرجة ٢٠٠ $\frac{١}{٥٤٢٥}$ وفيما بين درجة ٢٠٠ ودرجة ٣٠٠ $\frac{١}{٥٣٠٠}$ وتظهر هذه الظاهرة في جميع السوائل الاخر وهذا يرى أن هذه الاجسام لا تتمدد بانتظام وثبت أن تمددها يكثر عدم انتظامه كلما كانت اكثر قربا من درجة تجمدها أو من درجة غليانها

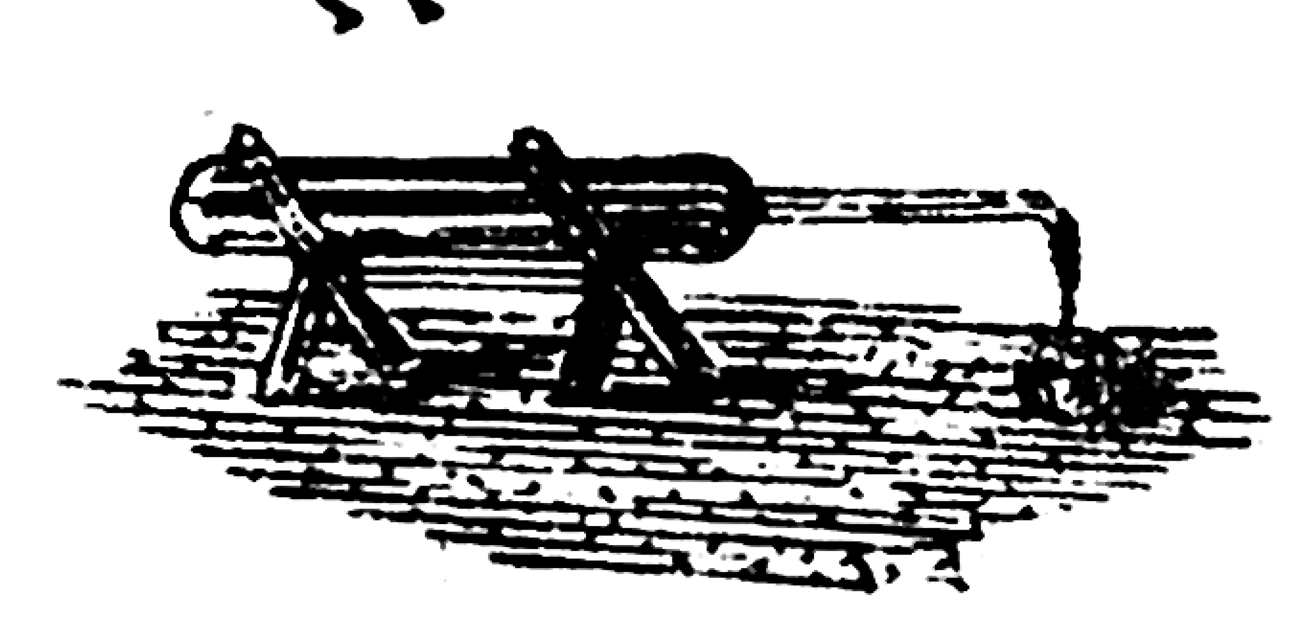
وأما الزئبق فقد أثبت دولونغ و بوتيت أنه يتمدد بانتظام من درجة ٣٦ – الى درجة ١٠٠ +

(المبحث الثالث في مكرر التمدد الظاهري للزئبق)

مكرر التمدد الظاهري لسائل يتغير تبعا لتغير طبيعة ظرفه وقد عين دلونغ و بوتيت مكرر التمدد الظاهري للزئبق في الزجاج بواسطة الجهاز الموضح في شكل ١٤٤

شكل

١٤٤



وهو يتركب من مستودع اسطواني من الزجاج ملحوم فيه أنبوبة شعرية منحنية على زاوية قائمة ومفتوحة الطرف

ولاجل

ولاجل فعل التجربة توزن الآلة فارغة ثم ملآنة بزئبق فى درجة الصفر وفرق الوزنين يعطى الثقل ب للزئبق المنحصر فى الجهاز ثم يتوصيل الجهاز بعد ذلك لدرجة حرارة معلومة ت يتمدد الزئبق ويخرج من الجهاز كمية من الزئبق نستقبل فى جفنة صغيرة وتوزن فاذا رمزنا بحرف بَ لثقل الزئبق الذى خرج كان ثقل الزئبق الباقى فى الجهاز ب ــ بَ ثم برجوع الآلة للصفر ثانيا يبرد الزئبق ويحدث فى المستودع فراغ يبين الانقباض الذى كابده الزئبق ب ــ بَ حينما برد من درجة ت الى الصفر أو يبين كذلك تمدده من الصفر الى درجة ت أعنى أن الثقل بَ يبين التمدد لدرجة ت من ثقل ب ــ بَ وحينئذ اذا كان الثقل ب ــ بَ المأخوذ فى الصفر تمدد فى الزجاج بمقدار بَ لحد درجة ت فتتمدد وحدة الثقل فى نفس

الشروط $\frac{بَ}{ب - بَ}$ لدرجة ت و $\frac{بَ}{(ب - بَ) ت}$ لدرجة واحدة وحينئذ

$\frac{بَ}{(ب - بَ) ت}$ تبين مكرر التمدد الظاهرى للزئبق فى الزجاج

وعلى ذلك اذا كان ك هذا المكرر فيصير ك $= \frac{بَ}{(ب - بَ) ت}$ وهكذا وجد دولونغ وبوتيت أن مكرر التمدد الظاهرى للزئبق فى الزجاج $\frac{١}{٦٤٨٠}$

(المبحث الرابع فى الترمومتر الثقلى)

الجهاز الموضح فى شكل ١٤٤ السابق يسمى بالترمومتر الثقلى لانه من وزن الزئبق الذى يخرج منه تستنتج درجة الحرارة التى وصلت اليها الآلة وفى الواقع أن

التجربة السابقة أوصلت الى هذا القانون $\frac{بَ}{(ب - بَ) ت} = \frac{١}{٦٤٨٠}$

ويوجد بازالة المقامات بَ × ٦٤٨٠ = (ب − بَ) ت وينتج من ذلك

$$ت = \frac{بَ \times ٦٤٨٠}{(ب - بَ)}$$ ويستنتج من هذا القانون ت متى علمت ب و بَ

(المبحث الخامس في مكرر تمدد الزجاج)

حيث كان التمدد الحقيقي لسائل مساويا بالتمدده الظاهري مضافا اليه تمدد الظرف فيتحصل مكرر التمدد الحجمي للزجاج بأخذ الفرق بين مكرر التمدد الحقيقي للزئبق ومكرر تمدده الحجمي أعني أن مكرر التمدد الحجمي للزجاج يساوي $\frac{١}{٥٥٥٠} - \frac{١}{٦٤٨٠} = \frac{١}{٣٨٦٧١} = ٠,٠٠٠٠٢٥٨٥$

وقد أثبت رينيول أن مكرر تمدد الزجاج ليس واحدا في جميع أنواع الزجاج وأنه يتغير تبعا لتغير شكل الظرف ووجد أن مكرر تمدد الزجاج المعتاد المتخذة منه الانابيب الكياوية يساوي ٠,٠٠٠٠٢٥٤

(المبحث السادس في مكرر تمدد السوائل المختلفة)

علم تعيين مكرر التمدد الظاهري لجميع السوائل بطريقة الترمومتر الثقلي المذكورة في المبحث الثالث

ولاجل الحصول بعد ذلك على مكرر التمدد الحقيقي يضاف مكرر التمدد الظاهري لمكرر تمدد الزجاج وهذا ينتج من الارتباط الموجود بين الثلاث مكررات المتقدمة في مكرر تمدد الزجاج

التمدد الظاهري لبعض سوائل من درجة الصفر الى درجة ١٠٠ تبعا لدالتون

زئبق	٠,٠١٥٤٣	زيت الترمنتينا	٠,٠٧
ماء مقطر	٠,٠٤٦٦	اتير كبريتيك	٠,٠٧
ماء مشبع بملح الطعام	٠,٠٥	الزيوت الثابتة	٠,٠٨
حمض كبريتيك	٠,٠٦	كؤول	٠,١١٦
حمض كلورايدريك	٠,٠٦	حمض أزوتيك	٠,١١

وهذه الاعداد الدالة على التمدد الكلي من درجة الصفر الى درجة ١٠٠ + يلزم قسمتها على ١٠٠ للحصول على التمدد لدرجة واحدة أو على مكرر التمدد لكن انتائج

المتحصلة حينئذ لا تبين متوسط مكرر التمدد للسوائل لان هذه الاجسام تتمدد بدون انتظام و يأخذ مكرر تمددها فى الازدياد بانتقالها من درجة الصفر و يستثنى منها الزئبق فقط الذى تمدده يكون بانتظام من درجة ٣٦ - الى درجة ١٠٠ كما تقدم

(المبحث السابع فى تصحيح الارتفاع البارومترى)

تقدم فى مبحث تعديل درجة الحرارة من الفصل الثانى من الباب الرابع أنه لاجل أن تكون دلالات هذه الآلة مماثلة لبعضها فى الحالة المختلفة وفى الفصول المختلفة يلزم ترجيع عمود الزئبق دائما الى درجة حرارة ثابتة وهى درجة الجليد الذائب ويفعل هذا التصحيح بالحساب الآتى وهو أنه اذا كان ش ارتفاع البارومتر فى درجة ت وشَ ارتفاعه فى درجة الصفر ورمزنا بحرف ء لكثافة الزئبق فى درجة الصفر وبحرف ءَ لكثافته فى درجة ت يعلم مما تقدم أن ارتفاعى ش وشَ يكونان على حسب عكس كثافتى ء و ءَ أعنى يصير $\frac{شَ}{ش} = \frac{ءَ}{ء}$ (١)

لكن اذا بينا حجم الزئبق فى درجة الصفر بواحد يصير حجمه فى درجة ت ١ + ك ت وك هى مكرر التمدد الحقيقى للزئبق وحيث شاهدنا فى المسئلة الرابعة من مسائل التمدد أن نسبة حجمى ١ و١ + ك ت مساوية لنسبة عكس كثافتى ء و ءَ يصير

$$\frac{ءَ}{ء} = \frac{١}{١ + ك ت} \quad (٢)$$

اذا تقرر ذلك فمن مساواة (١) و (٢) يحدث $\frac{شَ}{ش} = \frac{١}{١ + ك ت}$

ومن ذلك ينتج . $شَ = \frac{ش}{١ + ك ت}$ وبتعويض ك بقيمتها $\frac{١}{٥٥٥٠}$ يتحصل

$$شَ = \frac{ش}{١ + \frac{ت}{٥٥٥٠}} = \frac{ش \times ٥٥٥٠}{٥٥٥٠ + ت}$$

وفى هذا الحساب يجب أخذ مكرر التمدد الحقيقى للزئبق لا مكرر تمدده الظاهرى لان قيمة ش تكون واحدة اذا لم يتمدد الزجاج وارتفاع البارومتر لا يتعلق بقطر الانبوبة كما سبق فى عدم تعلق ضغط السوائل بشكل الاوانى وعليه فلا يتعلق بتمددها

فاذا كانت درجة الحرارة ٢٥ مثلا و كان ارتفاع البارومتر ٧٥و٠ مترا وأريد معرفة الارتفاع فى درجة الصفر يفعل هكذا

$$ش َ = \frac{٠٫٧٥ \text{ مترا} \times ٥٥٥٠}{٥٥٥٠ + ٢٥} = \frac{٤١٦٢٫٥}{٥٥٧٥} = ٠٫٧٤٦ \text{ مترا}$$

وفى القانون المذكور نترك تمدد الاقسام البارومترية ولاجل تصحيحها يلزم ضرب العدد من الاقسام المشاهدة على المسطرة المقسمة فى مكرر التمدد $(١ + ك َ ت)$ وحينئذ يصير الارتفاع الحقيقى للبارومتر المرجع الى درجة الصفر

$$ش َ = \frac{ش (١ + ك َ ت)}{١ + ك ت} \quad \text{أو} \quad ش َ = \frac{ش \times ٥٥٥٠ (١ + ك َ ت)}{٥٥٥٠ + ت}$$

و ك َ هو مكرر تمدد أقسام المسطرة

(المبحث الثامن فى نهاية كثافة الماء)

متى انخفضت درجة حرارة الماء فلا تتقارب أجزؤه الى بعضها و يصل الى نهاية كثافته الا اذا وصل لدرجة ٤ + وفى أخفض من هذه الدرجة ينقطع تقارب الاجزاء و يأخذ الماء فى التمدد الى درجة تجمده وهى درجة الصفر وهذه ظاهرة معتبرة

ولاجل تحقيقها بالتجربة استعمل الجهاز الآتى المنسوب الى هوب وهو يتركب من مخبار ذى قاعدة مثقوب من جانبه ثقبين أحدهما فى جزئه العلوى والآخر فى جزئه السفلى ومثبت فيهما ترمومتران كما فى شكل ١٤٥

ومن

ومن غلاف معدنى ملآن
بالجليد محيط بالجزء المتوسط من
هذا المخبار وحينئذ اذا ملئ
المخبار بماء درجة حرارته ١٠
أو ١٢ + يشاهد أن
الترمومتر العلوى يبقى ثابتا
تقريبا والترمومتر السفلى
ينخفض بسرعة الى درجة ٤ +
ثم يصير ثابتا
ويأخذ الترمومتر العلوى
الآن فى الانخفاض لكن
ليس لدرجة ٤ + فقط بل
ينخفض لدرجة الصفر ويبقى
السفلى ثابتا دائما فى درجة
٤ + ويستنتج من ذلك

شكل ١٤٥

أنه متى برد الماء لدرجة ٤ + ازدادت كثافته لانه اتجه الى الجزء السفلى من المخبار لكنه يتمدد بتبريده زيادة لانه يصعد حينئذ جهة الجزء العلوى وحينئذ فيكون وصول الماء لنهاية كثافته فى درجة ٤ +

وأثبت هالستروم وديسبرتز بطرق أخرى أن وصول الماء لنهاية كثافته يكون فى درجة ٤ + وصنع ديسبرتز جدولا لكثافة الماء من درجة ٩ - الى درجة ١٠٠ + مع أخذه كثافة الماء درجة ٤ + وحدة

ولنذكر من هذا الجدول الاعداد الآتى بيانها التى تكفى فى حدود الحرارة للتجارب فى العمل

(كثافة الماء من درجة الصفر الى درجة ٣٠ + مع أخذ كثافة الماء درجة ٤ + وحدة)

درجات الحرارة	الكثافة	درجات الحرارة	الكثافة	درجات الحرارة	الكثافة
٠	٠,٩٩٩٨٧٣	١١	٠,٩٩٩٦٤٠	٢٢	٠,٩٩٧٧٨٤
١	٠,٩٩٩٩٢٧	١٢	٠,٩٩٩٥٢٧	٢٣	٠,٩٩٧٥٦٦
٢	٠,٩٩٩٩٦٦	١٣	٠,٩٩٩٤١٤	٢٤	٠,٩٩٧٢٩٧
٣	٠,٩٩٩٩٩٩	١٤	٠,٩٩٩٢٨٥	٢٥	٠,٩٩٧٠٧٨
٤	١,٠٠٠٠٠٠	١٥	٠,٩٩٩١٢٥	٢٦	٠,٩٩٦٨٠٠
٥	٠,٩٩٩٩٩٩	١٦	٠,٩٩٨٩٧٨	٢٧	٠,٩٩٦٥٦٢
٦	٠,٩٩٩٩٦٩	١٧	٠,٩٩٨٧٩٤	٢٨	٠,٩٩٦٢٧٤
٧	٠,٩٩٩٩٢٩	١٨	٠,٩٩٨٦١٢	٢٩	٠,٩٩٥٩٨٦
٨	٠,٩٩٩٩٧٨	١٩	٠,٩٩٨٤٢٢	٣٠	٠,٩٩٥٦٨٨
٩	٠,٩٩٩٨١٢	٢٠	٠,٩٩٨٢١٣	٥٠	٠,٩٨٨٠٩٣
١٠	٠,٩٩٩٧٣١	٢١	٠,٩٩٨٠٠٤	١٠٠	٠,٩٥٨٦٣٤

ويظهر من هذا الجدول أن كثافة الماء تنقص كثيرا بدون انتظام من درجة الصفر الى درجة ١٠٠ + ويتبع ذلك تزايد مكرر تمدده بدون انتظام كثير أيضا ولذلك لا يحصل أدنى ضبط فى الحساب المستعمل لمتوسط مكرر تمدد الماء فى ما بين الصفر ودرجة ١٠٠ + فاذا كان حرف ك هو هذا المكرر فلا يفيد ادخال مكرر التمدد ١ + ك ت فى الحساب لكن حيث ان كثافة الماء فى درجة ت معلومة من الجدول المذكور فيمكن دائما استعمال القانون ب يساوى ح ء مباشرة سواء كان لحساب الثقل فى درجة ت لكتلة معلومة الحجم أو لحساب الحجم اذا كان الثقل هو المعلوم مثال ذلك اذا أريد حساب الثقل ب لحجم من الماء ح فى درجة ت فيبحث فى الجدول المذكور عن الكثافة ء للماء فى درجة ت فالثقل الذى يصير ح فى درجة ٤ +

بصيرع ءَ فى درجة ت و يحصل حينئذ ب = ح ءَ ،ح مقدرة بالديسيمتر المكعب و ب بالكيلوجرام

(المبحث التاسع فى تعديل أى تصحيح الاوزان النوعيسة للجوامد والسوائل)

فى الطرق المختلفة التى سبق اعطاؤهـا لتعيين الوزن النوعى للاجسام الصلبة والسائلة فرضت الاجسام الصلبة والسائلة فى درجة الصفر والماء فى درجة ٤ + وحيث ان هـذه الشروط على العموم ليست مستوفية فتوجد جملة تصحيحات لاستيفائها ولنعتبر الحالة التى يستعمل فيها الميزان الايدروستاتيكى مع فعل تصحيح الوزن فى الهواء وليكن ب الثقل الحقيقى لجسم معلوم و كَ مكرر تمدده الحجمى و ء وزنه النوعى فى درجة الصفر أعنى المجهول المبحوث عنه و ت درجة الحرارة وحيث ان $\frac{ب}{ء}$ حجم الجسم فى درجة الصفر فحجمه فى درجة ت يكون $\frac{ب}{ء}$ (١ + كَ ت) واذا رمزنا بحرف ل لوزن ليتر من الهواء فى درجة ت وفى الضغط البارومترى زمن التجربة كان الفقد من الوزن فى الهواء حينئذ $\frac{ب}{ء}$ (١ + كَ ت) ل ويكون الوزن الظاهرى للجسم فى الهواء ب − $\frac{ب}{ء}$ (١ + كَ ت) ل = ب $\left(١ - \frac{(١ + كَ ت) ل}{ء}\right)$

واذا كان حرف بَ الثقل الحقيقى للوزنات التى توازن الجسم وءَ وزنها النوعى و كَ مكرر تمددها الحجمى يحصل أيضا وزنها الظاهرى هكذا

بَ $\left(١ - \frac{(١ + كَ ت) ل}{ءَ}\right)$ وحينئذ فالوزن الاول الواقع فى الهواء يعطى المتساوية

$$ب \left(١ - \frac{(١ + كَ ت) ل}{ء}\right) = بَ \left(١ - \frac{(١ + كَ ت) ل}{ءَ}\right) \quad (١)$$

ثم ننتقل الآن للوزن الثانى وهو الوزن فى الماء فنقول شوهد أن حجم الجسم الذى يبحث عن وزنه النوعى يكون فى درجة ت $\frac{ب}{ء}$ (١ + كَ ت) فاذا بحث

في جدول د يسبرتز عن كثافة ءَ للماء في درجة ت بين ناتج $\frac{\text{ب}}{\text{ء}}(\text{١}+\text{ك ت})\text{ءَ}$ وزن الماء المنزوى بالجسم واذا رمزنا بحرف بَ للوزنات التي تعادل الجسم الموزون في الماء أعني للثقل الظاهرى لهذا الجسم ناقص ثقل الماء المنزوى ففرق الوزنات ب ـ بَ المستعملة في الوزنين يكون وزن الماء المنزوى ويتحصل حينئذ تصحيح الوزن في الهواء هكذا

$$\frac{\text{ب}}{\text{ء}}(\text{١}+\text{ك ت})\text{ءَ} = (\text{ب}-\text{بَ})\left(\text{١} - \frac{(\text{١}+\text{ك ت})\text{ل}}{\text{ء}}\right) \quad (\text{٢})$$

وبقسمة طرفي قانون (١) على قانون (٢) لاستخراج ب المجهول وحذف الكسر العام أي المشترك $\left(\text{١} - \frac{(\text{١}+\text{ك ت})\text{ل}}{\text{ء}}\right)$ يتحصل $\left(\frac{\text{ء}-(\text{١}+\text{ك ت})\text{ل}}{(\text{١}+\text{ك ت})\text{ءَ}}\right)$ $= \frac{\text{ب}}{\text{ب}-\text{بَ}}$ ويستخرج من ذلك $\text{ء} = (\text{١}+\text{ك ت})\left(\text{ل} + \frac{\text{ب ءَ}}{\text{ب}-\text{بَ}}\right)$

وأما حرف ل فلاجل تعيينه بالضبط يلزم حساب درجة الحرارة والضغط وبخار الماء الموجود في الهواء (انظر في الاصل المسألة الثانية من مسائل الايجرومتر)

واذا استعملت طريقة الدورق أو طريقة الاريومتر بدل استعمال الميزان الايدروستاتيكي كانت طريقة التصحيح واحدة

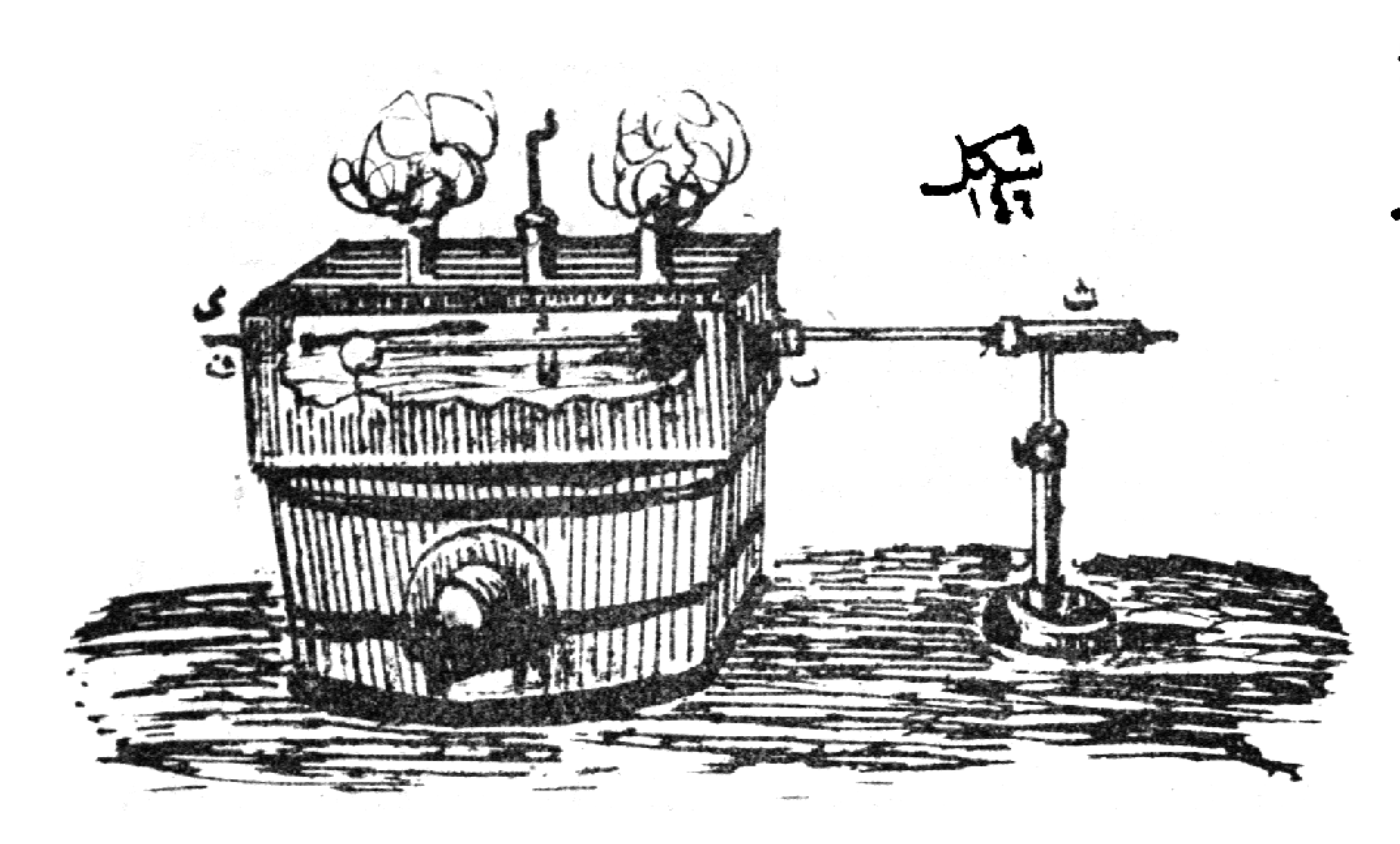
(الفصل الرابع في تمدد وكثافة الغازات وفيه مباحث)

(المبحث الاول في طريقة غيلوساك لتمدد الغازات وفي قانونه)

الغازات هي الاجسام الكثيرة التمدد ويظهر تمددها بانتظام زائد وزيادة على ذلك اذا اخذنا زيادة وحدة الاحجام من درجة الصفر الى درجة فوق الصفر لمكرر تمدد الغازات كما فعلنا في الاجسام الصلبة والسائلة نجد أن مكرر تمدد الغازات بالنسبة لبعضها لا يختلف الا بمقدار قليل جدا ولذا قيل زمنا طويلا ان جميع الغازات تتمدد بمقدار واحد في التغير الواحد للحرارة

وغيلوساك

وغيلوساك هو أوّل من وضع هذا القانون وهو أنّ جميع الغازات بسيطة كانت أو مركبة يكون مكرر تمدّدها واحدا وشكل ١٤٦ يوضح الجهاز الذى استعمله غيلوساك فى تجاربه وهو أنبوبة ترمومترية ا ب ساقها منقسمة أجزاء متساوية السعة بالكيفية المتقدمة فى مبحث تقسيم الانبوبة الى أجزاء



متساوية السعة وبوزن الزئبق المنحصر فى كرة ا ثم الزئبق المنحصر فى الساق يتعين عدد أقسام الساق المنحصرة فى الكرة ولاجل ملء الساق والكرة بالهواء الجاف ملأهما غيلوساك أوّلا بالزئبق ثم غلاه لطرد الرطوبة وبعد ذلك ثبت طرف الساق بواسطة سدادة فى أنبوبة غليظة ث ملآنة بكلورور الكالسيوم الذى هو جسم كثير الشراهة للماء وأمسك مجموع أنبوبتى ا ب و ث فى وضع رأسى وأنبوبة ث الى أسفل ثم أدخل فى هذه الانبوبة والساق سلكا رفيعا من البلاتين وبتحريك هذا السلك حركة لطيفة يجذب معه كرات من الزئبق تعوّضها كرات من الهواء تدخل من أنبوبة ث بعد جفافها بمرورها على كلورور الكالسيوم ومتى امتلأت الكرة والساق بالهواء الجاف يخرج السلك البلاتين مع الانتباه لحفظ عمود صغير من الزئبق معدّ لان يستعمل علامة

فحينئذ توضع الانبوبة كما يوضحه الشكل المذكور فى صندوق من التنك بأن يدخل الساق من سدادة موفقة على فتحته الجانبية مع حفظ أنبوبة كلورور الكالسيوم لمنع دخول الرطوبة وحيث ان الصندوق يكون ملآنا ابتداء بالجليد فان الهواء المنحصر فى الجهاز ينقبض وتتقدم علامة الزئبق من ب الى ا وبمعرفة القسم من الانبوبة الذى

وقفت فيه العلامة حينما تصير ثابتة يتحصل حجم الهواء المنحصر فى الجهاز فى درجة الصفر وأما ضغطه فهو الضغط الذى يبينه البارومتر زمن التجربة

وأخيرا ينزع الجليد ويعوض بالماء ويوضع الصندوق على فرن ويسخن بالتدريج وتعرف درجة حرارة الماء بواسطة ترمومترى ى ف المغمورين فيه فبسخونة الهواء المنحصر فى الجهاز حينئذ تتقدم العلامة من ا نحو ب ولاجل أن تكون حرارة جميع الهواء مساوية لحرارة الماء يعتنى بغمر الانبوبة زمنا بعد زمن فى الصندوق كلما مالت العلامة للخروج منه ومتى أوقفت الحرارة بغلق أبواب الفرن بقيت العلامة ثابتة بعض لحظات وحينئذ يعين القسم من الساق المقابل للعلامة ويتحصل حينئذ الحجم الذى كان أخذه الهواء فى درجة الحرارة التى علمت بالترمومترين وفى الضغط المبين بالبارومتر فى نفس الزمن

فاذا فرض أن ارتفاع البارومتر بقى واحدا مدة التجربة وطرح تمدد الزجاج تحصل مكرر تمدد الهواء بالحساب الآتى أعنى ليكن ع حجم الهواء المنحصر فى الجهاز فى درجة الصفر و عَ ما يؤول اليه هذا الحجم فى درجة ت من الحمام وهو الماء الموضوع فى الصندوق فيكون عَ — ع مبينا فى الحقيقة للزيادة الكلية لحجم الهواء ع المسخن من الصفر لدرجة ت وتكون زيادة الحجم للدرجة الواحدة ولوحدة الاحجام حينئذ عَ — ع مقسومة على حاصل ضرب ت فى ع أعنى $\frac{عَ - ع}{ع \times ت}$ فاذا رمزنا بحرف ك لمكرر تمدد الهواء تحصل حينئذ

$$ك = \frac{عَ - ع}{ع\ ت} \quad (١)$$

فاذا تغير الضغط الجوى وحسب تمدد الزجاج تفعل التصحيحات المذكورة فى قانون مريوط وفى تمدد الاجسام الصلبة ولاجل ذلك ليكن ش الضغط فى درجة الصفر و شَ الضغط فى درجة ت فلاجل ترجيع الحجم عَ الى الضغط ش يلزم بمقتضى قانون مريوط ضربه فى $\frac{شَ}{ش}$ وتصير المعادلة المذكورة

$$ك = \frac{عَ \frac{شَ}{ش} - ع}{ع\ ت} \quad (٢)$$

وحيث

وحيث انّ ع ليس هو الحجم الحقيقى للغاز فى درجة ت فيكون هو الحجم الظاهرى ويكون الحجم الحقيقى ع (١ + كَ ت) وكَ مكرر التمدّد الحجمى للزجاج وبنقل هذه القيمة الى معادلة (٢) يتحصل

$$ك = \frac{عَ (١ + كَ ت) \frac{شَ}{شه} - ع}{ع ت}$$

وبهذه الطريقة المذكورة وجد غيلوساك لمكرر تمدّد الهواء هذا العدد ٣٧٥ ٠٠ ,٠ وزيادة على ذلك فقد أوصلته تجاربه الى أن يقول ان هذا العدد بين مكرر تمدّد جميع الغازات لكن هذا القانون المعتبر بالنظر لكونه بسيطا ليس حقيقيا كما ظن غيلوساك وانما هو تقريبى بحيث يمكن أن يقال به فى كثير من الاحوال خصوصا فى تغيرات الحرارة القليلة الاعتبار

وقد أثبت كل من رودبيرج و رينيول ومانوس أن عدد غيلوساك كبير وأن المقدار الحقيقى لمكرر تمدّد الهواء هو ٣٦٧ ٠٠ ,٠ وكان فى تجربة غيلوساك سببان مغلطان الاوّل أن الغاز لم يكن جافا جفافا تاما الثانى أن علامة الزئبق التى تنتقل فى الانبوبة ما كانت تغلقها غلقا محكما فكان الهواء الظاهرى يدخل فى الجهاز

والطريقتان المستعملتان لتعيين مكرر تمدّد الغازات وخاليتان عن العيبين المذكورين هما طريقتا رينيول فمن أراد الاطلاع عليهما فليراجعهما فى الاصل

(مسائل تمدّد الغازات)

المسألة الاولى اذا كان حجم الغاز فى الصفر ف فما يصير حجمه فى درجة ت والحال أن مكرر تمدّده ك وضغطه ثابت

الجواب اذا فرضنا أنّ فَ هو الحجم المبحوث عنه وأعدنا هنا البراهين المتقدمة فى التمدد الخطى نجد بدون تعب أنّ فَ = ف + ك ف ت أو فَ = ف (١ + ك ت) (١)

المسئلة الثانية اذا كان فَ هو حجم الغاز فى درجة ت فما يصير حجمه ف فى درجة الصفر مع بقاء الضغط ثابتا ومكرر تمدّده ك

الجواب هذه المسئلة تحل بواسطة المعادلة (١) المتقدّمة التى يستخرج منها بقسمة الطرفين على ١ + ك ت ف = $\frac{فَ}{١ + ك ت}$ (٢)

المسألة الثالثة المعلوم الحجم فَ لغاز فى درجة ت فما يكون حجمه فً فى درجة تَ مع بقاء الضغط واحدا

الجواب يلزم أولا ترجيع الحجم لدرجة الصفر بمعادلة (٢) وهذا يعطى $\frac{فَ}{١ + ك ت}$

ثم ينقل هذا الحجم الاخير من الصفر الى درجة تَ بواسطة المعادلة (١) فيتحصل أخيرا

$$فً = \frac{فَ (١ + ك تَ)}{١ + ك ت} \quad (٣)$$

المسألة الرابعة اذا كان فَ حجم الغاز فى درجة ت وفى الضغط ش فما يصير الحجم ف لنفس كتلة الغاز فى درجة الصفر وفى ضغط ٧٦ر٠ مترا

الجواب يفعل هنا تصحيحان أحدهما ينسب لدرجة الحرارة والثانى للضغط ولا فرق فى أن يبتدأ بأحدهما أو بالثانى فاذا فعل أولا تصحيح الحرارة فانه يصير الحجم فى الصفر

بمقتضى معادلة (٢) $\frac{فَ}{١ + ك ت}$ وأيضا فى الضغط ش ينقل هذا الضغط الى ضغط

٧٦ر٠ مترا بأن يوضع بمقتضى قانون مريوط ف × ٧٦ر٠ = $\frac{فَ}{١ + ك ت}$ × ش

$$فينتج\ ف = \frac{فَ ش}{(١ + ك ت)\ ٠٫٧٦} \quad (٤)$$

ولنمثل للتطبيق العددى بحل المسئلة الآتية وهى المعلوم ٨ ليترات من الهواء فى درجة ٢٥ + وضغط ٧٤ر٠ مترا فما يصير حجمها فى الصفر وفى ضغط ٧٦ر٠ مترا

وبفعل تصحيح الضغط أولا يتحصل $\frac{ش}{٨} = \frac{٧٤}{٧٦}$

وينتج من ذلك ش = $\frac{٨ \times ٧٤}{٧٦}$ = ٧٫٧٨٩ ليترات

والحجم المتحصل حينئذ يكون فى ضغط ٧٦ر٠ مترا لكنه فى درجة ٢٥ + فيبقى ترجيعه الى الصفر ويستعمل لذلك معادلة (٢) المتقدمة التى تعطى الحجم المبحوث عنه

$$ف = \frac{٧٫٧٨٩}{١ + ٠٫٠٠٣٦٧ \times ٢٥} = \frac{٧٫٧٨٩}{١٫٠٩١٧} = ٧٫١٣٥\ ليترات$$

ويمكن

ويمكن أيضا استعمال معادلة (٤) مباشرة بتعويض ش ، ش َ ، ك ، ت بقيمتها

المسألة الخامسة اذا كانت كثافة الغاز أى وزنه النوعى ى فى درجة الصفر فما تكون كثافته فى درجة ت

الجواب نفرض أن ى َ كثافة الغاز فى درجة ت فاذا رمزنا بواحد لحجم من هذا الغاز فى درجة الصفر صار الحجم فى درجة ت ١ + ك ت وحيث ان كثافة الكتل المتساوية تكون على حسب عكس الاحجام كما تقدم فى مبحث الثقل فيحصل

$$\frac{ى َ}{ى} = \frac{١}{١ + ك ت} \quad \text{وينتج } ى َ = \frac{ى}{١ + ك ت} \ (١) \quad \text{و } ى = ى َ (١ + ك ت) \ (٢)$$

ومعادلة (١) ترى أن الكثافة فى درجة ت تكون على حسب عكس مكرر التمدد ١ + ك ت وأما معادلة (٢) فتستعمل لايجاد الكثافة فى الصفر متى علمت الكثافة فى درجة ت

المسئلة السادسة حجم من غاز فى درجة ت يزن ب َ فما يكون وزن حجم مثله من هذا الغاز فى درجة الصفر

الجواب ليكن ب الوزن المبحوث عنه ، ك مكرر تمدد الغاز ، ى َ كثافته ، ت درجة حرارته ، ى كثافته فى درجة الصفر

وحيث ان الاوزان متناسبة مع الكثافة فتحصل المساواة $\frac{ب َ}{ب} = \frac{ى َ}{ى}$ وتقدم فى المسئلة الخامسة أن

$$\frac{ى َ}{ى} = \frac{١}{١ + ك ت} \quad \text{فحينئذ} \quad \frac{ب َ}{ب} = \frac{١}{١ + ك ت}$$

وينتج $ب = ب َ (١ + ك ت)$

ويستخرج أيضا من هذه المساواة الاخيرة أن $ب َ = \frac{ب}{١ + ك ت}$ وهذه المعادلة بها يوجد الوزن فى درجة ت متى علم الوزن فى الصفر وتبين أن الوزن ب َ هو على حسب عكس مكرر التمدد ١ + ك ت

(المبحث الثانى فى الوزن النوعى للغازات بالنسبة للهواء)

الوزن النوعى أو الكثافة لغاز بالنسبة للهواء هى نسبة ثقل حجم من هذا الغاز لثقل حجم مساوله من الهواء وكلاهما كائن فى درجة الصفر وفى ضغط ٧٦ , ٠ مترا وحينئذ فلاجل ايجاد الوزن النوعى لغاز يلزم البحث عن وزن حجم من هذا الغاز فى درجة الصفر وفى ضغط ٧٦ , ٠ مترا ثم البحث عن وزن حجم مساوله من الهواء فى نفس الحرارة والضغط المذكورين وقسمة الوزن الاول على الثانى ويستعمل لذلك كرة من زجاج تسع من ثمانية ليترات الى عشرة أعنى تسع ٤ , ٢٦٦٦ جراما الى ٣٣٣٣ جراما يحمل عنقها حنفية يمكن تحكيمها على الآلة المفرغة مثل الكرة المتقدمة فى شكل ١٥ المذكورة فى مبحث ثقل الغازات فتوزن هذه الكرة على التوالى فارغة ثم ملآنة بالهواء ثم بالغاز الذى يبحث عن وزنه النوعى ويجفف الهواء والغاز بالطريقة المتقدمة فى مبحث تمدد الغازات وبطرح وزن الكرة من الثقل المتحصل فى كل من الوزنين الاخيرين يتحصل وزن أحجام متساوية من الهواء والغاز فى حالة ما تكون الحرارة مدة هذين الوزنين المختلفين فى درجة الصفر والضغط ٧٦ , ٠ مترا لا يكون الا قسمة وزن الغاز على وزن الهواء والناتج المتحصل هو حينئذ الوزن النوعى المبحوث عنه

لكن الطريقة التى بيناها محتاجة على العموم لتصحيحات عديدة لترجيع وزن الغازين الى الصفر والى ضغط ٧٦ , ٠ مترا وكذلك ترجيع حجم الكرة الى الصفر ولاجل فعل هذه التصحيحات يلزم أولا الاعتناء بالعمل على غازات جافة ويتحصل ذلك بامرارها على مواد مجففة قبل ادخالها فى الكرة والهواء يلزمه زيادة على ذلك أن يمر على البوتاسا الكاوية ليفقد حمض الكربونيك المحتوى عليه وأيضا حيث ان أجود الآلات المفرغة لا تحدث فراغا تاما فلاجل عدم حساب ما يتبقى من الغازين داخل الكرة من ضمن الوزن يفعل الفراغ فى كل مرة الى أن يبين المخبار شدة واحدة و مثلا

واذا تقرر ذلك يفعل الفراغ فى الكرة ثم يدخل فيها الهواء الجاف ثم يفرغ ثم يدخل فيها وهكذا جملة مرار الى أن تصير الكرة جافة بالكلية حينئذ يفعل الفراغ آخر مرة الى أن يبين المخبار الشدة و وتوزن فيتحصل الثقل ب للكرة فارغة حينئذ يترك الهواء يدخل فيها ببطء من وسط أنابيب بعضها محتو على كلورور الكالسيوم والاخر على البوتاسا

البوتاسا وتوزن ثانيا فيوجد ثقل الكرة وهي ملآنة بَ ونجعل شَ الارتفاع البارومترى و تَ درجة الحرارة زمن الوزن يكون حينئذ بَ ـ ب ثقل الهواء المنحصر فى الكرة فى درجة تَ وفى ضغط شَ ـ و

فلاجل ترجيع هذا الثقل لضغط ٧٦٠ وفى درجة الصفر ليكن لَ مكرر تمدد الهواء و كَ مكرر التمدد الحجمى للزجاج فبمقتضى قانون مريوط يصير الثقل الذى هو بَ ـ ب فى الضغط شَ ـ و فى ضغط ٧٦٠ $\left(\text{بَ} - \text{ب}\right)\frac{\text{٧٦٠}}{\text{شَ} - \text{و}}$ والحرارة دائما تَ فاذا صارت هذه الحرارة فى الصفر نقصت سعة الكرة بنسبة ١ + كَ تَ الى ١ وازداد ثقل الغاز بنسبة ١ الى ١ + لَ تَ وحينئذ فيكون ثقل الهواء المنحصر فى الكرة الكائن فى درجة الصفر وفى ضغط ٧٦٠

$$\left(\text{بَ} - \text{ب}\right)\frac{\text{٧٦٠}}{\text{شَ} - \text{و}} \times \frac{\text{١} + \text{لَ تَ}}{\text{١} + \text{كَ تَ}} \quad (\text{١})$$

وليكن أيضا ل مكرر تمدد الغاز المبحوث عن وزنه النوعى و ب″ ثقل الكرة ملآنة بهذا الغاز فى درجة ت وفى الضغط البارومترى ش ثم أخيرا ب‴ ثقل الكرة فارغة بعد أن يستخرج منها الغاز لغاية الشدة و فثقل الغاز المنحصر فى الكرة وفى ضغط ٧٦٠ وفى درجة الصفر يصير مبينا بهذه المعادلة

$$\left(\text{ب″} - \text{ب‴}\right)\frac{\text{٧٦٠}}{\text{ش} - \text{و}} \cdot \frac{\text{١} + \text{ل ت}}{\text{١} + \text{كَ ت}} \quad (\text{٢})$$

و بقسمة قانون (٢) على قانون (١) تتحصل الكثافة المبحوث عنها هكذا ى =

$$\frac{\left(\text{ب″} - \text{ب‴}\right)\left(\text{شَ} - \text{و}\right)\left(\text{١} + \text{ل ت}\right)\left(\text{١} + \text{كَ تَ}\right)}{\left(\text{بَ} - \text{ب}\right)\left(\text{ش} - \text{و}\right)\left(\text{١} + \text{لَ تَ}\right)\left(\text{١} + \text{كَ ت}\right)}$$

وهذا القانون لا يتعلق بحجم الكرة واذا لم تتغير الحرارة والضغط يتحصل ش = شَ و ت = تَ

وينتج من ذلك $ء = \frac{(ب'' - ب')\,(١ + لت)}{(ب' - ب)\,(١ + ل'ت)}$

وأخيرا اذا فرض أنّ ل = لَ يتحصل $ء = \frac{ب'' - ب'}{ب' - ب}$

وطريقة رينيول فى ايجاد كثافة الغازات أقل تصحيحا من طريقة غيلوساك التى ذكرناها فمن أراد الاطلاع عليها فليراجعها فى الاصل

(المبحث الثالث فى كثافة الغازات التى تؤثر على النحاس)

لا يمكن أن تستعمل الكرة ذات الحنفية للغازات التى تؤثر على النحاس مثل الكلور وحينئذ فتستعمل زجاجة ذات سدادة من جنسها محكمة السد تعرف سعتها أولا بوزنها ملآنة بالماء ثم يوصل لها الغاز بواسطة أنبوبة منحنية تنغمر الى نصف الزجاجة وهذه الزجاجة تكون قائمة أو منكسة على حسب كون الغاز أثقل من الهواء أو أخف منه ومتى تحقق خروج الهواء منها تخرج الانبوبة وتسد الزجاجة وتوزن حينئذ ملآنة بالكلور مثلا وليكن ب الثقل المتحصل و بَ ثقل الزجاجة ملآنة بالهواء فالفرق بين ب ــ بَ هو فى الحقيقة زيادة ثقل حجم من الكلور على ثقل حجم مساوله من الهواء وحيث أن سعة الزجاجة معلومة فيستنتج منها ثقل الهواء المحتوية عليه وباضافة هذا الثقل الى الفرق بين ب ــ بَ يتحصل ثقل الكلور ولم يبق حينئذ الا قسمة هذا الثقل على ثقل الهواء مع الانتباه دائما لفعل تصحيحات درجة الحرارة والضغط اللازمة لترجيع الثقلين لحجم واحد فى درجة الصفر وفى ضغط ٧٦٠

كثافة الغازات فى درجة الصفر وفى ضغط ٠,٧٦٠ مترا والحال أنّ كثافة الهواء مأخوذة وحدة

هواء	١,٠٠٠٠	أوكسيد الكربون	٠,٩٥٦٩
ايدروجين	٠,٠٦٩٣	أزوت	٠,٩٧١٤
أوّل كربور الايدروجين	٠,٥٥٩	ثانى أوكسيد الازوت	١,٠٣٨٨
غاز النوشادر	٠,٥٩٦٧	أوكسيجين	١,١٠٥٦

حض

حمض الكبريت ايدريك	١و١٩١٢	سيانوجين	١و٨٠٦٤
حمض الكلورايدريك	١و٢٤٧٢	حمض الكبريتوز	٢و٢٤٧٤
أول أوكسيد الازوت	١و٠٣٦٩	كلور	٣و٤٢١٦
حمض الكربونيك	١و٥٢٩٠	حمض اليودايدريك	٤و ٤٤٣

(المبحث الرابع فى الوزن النوعى للغازات بالنسبة للماء)

تقدم فى مبحث كثافة الهواء بالنسبة للماء أن الوزن النوعى للهواء بالنسبة للماء هو خارج قسمة ثقل ليتر من الهواء فى درجة الصفر على ثقل ليتر من الماء درجة ٤ + أعنى

$$\frac{١و٢٩٣ \text{ جراما}}{١٠٠٠} = ٠و٠٠١٢٩٣$$

وأما الاوزان النوعية للغازات الأخر بالنسبة للماء فتتعين بضرب كثافتها المذكورة فى هذا الجدول المتقدم فى عدد ٠و٠٠١٢٩٣

وفى الواقع اذا رمزنا بحرف ث لثقل ليتر من الهواء فى درجة الصفر وفى ضغط ٠و٧٦٠ مترا وبحرف ثَ لثقل ليتر من أى غاز كالايدروجين مثلا فى الحرارة والضغط المذكورين كان الثقل النوعى للهواء بالنسبة للماء $\frac{ث}{١٠٠٠}$ والثقل النوعى للايدروجين بالنسبة للهواء $\frac{ثَ}{ث}$ أعنى العدد ٠و٠٦٩٣ المنحصر فى الجدول المذكور وحينئذ فناتج كسرى $\frac{ث}{١٠٠٠}$ و $\frac{ثَ}{ث}$ هو $\frac{ثَ}{١٠٠٠}$ الذى هو الوزن النوعى للايدروجين بالنسبة للماء

وفائدة استعمال الوزن النوعى للغازات بالنسبة للماء فى الحسابات أن يعطى فى الحال ثقل الليتر بالكيلوجرام من الغاز الموزون مثال ذلك اذا ضرب فى الحسبة المتقدمة العدد ٠و٠٦٩٣ الدال على الثقل النوعى للايدروجين بالنسبة للهواء فى العدد ٠و٠٠١٢٩٣ الذى هو الثقل النوعى للهواء بالنسبة للماء كان الناتج ٠و٠٠٠٠٨٩٦

كيلوجراما أو ٠٫٨٩٦ جراما وهو ثقل الليتر من الايدروجين فى درجة الصفر وفى ضغط ٧٦٠ ميليمتر

(الفصل الخامس فى تغيير الحرارة لحالة الاجسام وفى الابخرة وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى الذوبان بالحرارة أو السيحان وقوانينه)

لم نذكر الى هنا من الظواهر المختلفة التى تظهرها الاجسام بتأثير الحرارة عليها الا تمددها وبالتأمل للاجسام الصلبة يسهل معرفة أن هذا التمدد له حد وفى الواقع قد أظهرت التجربة أن الجسم اذا سخن بالتدريج يأتى زمن تغلب فيه قوة الحرارة الشديدة الجذب الجزيئى الضام للجزيئات وتحدث حينئذ ظاهرة جديدة هى الذوبان أعنى انتقال الجسم من حالة الصلابة الى حالة السيولة ومع ذلك فتوجد أجسام كثيرة كالورق والخشب والصوف وبعض أملاح لا تسيح بتأثير الحرارة المرتفعة لكنها تتحلل ومن جميع الاجسام البسيطة جسم واحد لم يسح الى الآن بتأثير ينابيع الحرارة الشديدة جدا وهو الكربون ومع ذلك فبتعريض هذا الجسم لتأثير تيار كهربائى قوى وصل ديسبيرتز الى تليينه حتى صيره قابلا للثنى وهذا يدل على حالة قريبة من السيحان وظهر من التجربة أن ذوبان الاجسام منقاد للقانونين الآتيين

القانون الاول ان كل جسم يذوب على درجة حرارة محدودة لا تتغير لكل جسم ان كان الضغط ثابتا

القانون الثانى انه مهما كانت شدة الينبوع الحرارى فان الجسم متى أخذ فى الذوبان لا ترتفع درجة حرارته وتبقى مساوية لدرجة ذوبانه من زمن ابتداء الذوبان الى أن يتم

جدول

(جدول يتضمن درجات ذوبان أجسام مختلفة)

	درجة الحرارة		درجة الحرارة
زئبق	٣٩ -	قصدير	٢٢٨ +
		بزموت	٢٦٤ +
		رصاص	٣٢٦ +
جليد	صفر	تاليوم	٢٩٠ +
كلورور الكالسيوم الايدراتى	٢٩ +		
		خارصين	٣٦٠ +
شحم	٣٣ +	أنتيمون	٤٣٢ +
فصفور	٤٤ +	توج	٩٠٠ +
حمض المرجاريك	٥٧ +	فضة	١٠٠٠ +
بوتاسيوم	٥٨ +	زهر أبيض	١١٠٠ +
استيارين	٦٠ +	زهر سنجابى	١٢٠٠ +
شمع أصفر	٦١ +	باللاديوم	١٢٠٠ +
شمع أبيض	٦٩ +	ذهب	١٢٥٠ +
حمض الاستياريك	٧٠ +	صلب	١٣٥٠ +
صوديوم	٩٠ +	حديد مطاوع	١٥٠٠ +
مخلوط دارسيه (جزء رصاص وجزء قصدير وأربعة أجزا بزموت)	٩٤ +	بلاتين من	١٩١٥ الى ٢٠٠٠ +
		ايريديوم	٢٥٠٠ +

وأثبت هوبكن فى الانكليز أنّ درجة الذوبان ترتفع بمجرّد تزايد الضغط والاجسام التى فعل عليها التجربة هى الكبريت والشمع والاستيارين وشاهد تومسون عكس ذلك فى الجليد أعنى أنّ درجة ذوبانه تنخفض متى زاد الضغط وشاهد من ذلك أن درجة ذوبان الجسم الواحد ليست ثابتة بل تتغير مع الضغط

(المبحث الثانى فى الحرارة الكامنة)

شاهدنا فى مبحث الذوبان أنه متى أخذ الجسم فى الاستحالة من حالة الصلابة الى حالة

السيولة بقيت درجة حرارته ثابتة ومساوية لحرارة درجة ذوبانه مدة هذه الظاهرة مهما كانت شدة ينبوع الحرارة ويستنتج من ذلك أن الحرارة الواصلة للجسم مدة الذوبان مستعمل جميعها لاعطاء الجزيئات الوضع والحركة الاهتزازية اللازمين للميوعة وهذه الحرارة المتجهة الى العمل الباطني تكون حينئذ مفقودة بقدر الحرارة المحسوسة ولاجل ذلك سميت بحرارة الذوبان أو بالحرارة الكامنة

ومن التجربة الآتية تتصور حقيقة الحرارة الكامنة وهي اذا خلط أولا واحد كيلوجرام من الماء في درجة الصفر مع واحد كيلوجرام من الماء في درجة ٧٩ + تحصل في الحال كيلوجرامان من الماء في درجة ½ ٣٩ + أعني في درجة حرارة متوسطة بين درجتي السائلين المختلطين وسبب ذلك اتحاد طبيعة السائلين ومقاديرهما لكن اذا خلط واحد كيلوجرام من الجليد المجروش مع قدر وزنه من الماء درجة ٧٩ + ذاب الجليد في الحال وتحصل كيلوجرامان من الماء في درجة الصفر ويشاهد من ذلك أن الكيلوجرام من الجليد تشرب مقدار الحرارة اللازم لرفع كيلوجرام واحد من الماء من درجة الصفر الى ٧٩ درجة + بدون أن تتغير حرارته وانما ذاب فقط وكمية الحرارة هذه تبين حينئذ حرارة ذوبان الجليد أو الحرارة الكامنة للماء

وكل سائل له حرارة كامنة مخصوصة وسنشاهد كيفية تعيينها بالتجربة في مبحث قياس حرارة الذوبان الكامنة

(المبحث الثالث في الذوبان في سائل)

يذوب الجسم متى ماع بتأثير الميل الحاصل بين جزيئاته وجزيئات السائل كالصمغ العربي والسكر وأغلب الاملاح فانها تذوب في الماء ويحصل في مدة الذوبان كما في مدة السيحان اختفاء كمية من الحرارة الكامنة كثيرة الاعتبار أو قليلته ولهذا السبب يظهر في ذوبان الاملاح على العموم انخفاض في درجة الحرارة ومع ذلك فلا تنخفض درجة الحرارة في ذوبان بعض الاملاح بل ترتفع ويشاهد هنا حدوث فعلين مختلفين في آن واحد الاول الانتقال من حالة الصلابة الى حالة السيولة وهذا الفعل يصحبه انخفاض في درجة الحرارة والثاني اتحاد الجسم المذاب مع السائل وكل اتحاد كيماوي يحصل مع انتشار حرارة وعلى حسب تسلطن أحد الفعلين أو تساويهما تحدث اما برودة أو حرارة أو تبقى درجة الحرارة ثابتة

المبحث

(المبحث الرابع فى التجمد وقوانينه)

التجمد هو الانتقال من حالة السيولة الى حالة الصلابة وهذه الظاهرة منقادة للقانونين الآتيين المماثلين لقانونى السيحان ويثبتان بالتجربة

القانون الاول ان كل جسم يتجمد فى درجة حرارة ثابتة هى بالضبط درجة حرارة سيحانه

القانون الثانى انه من زمن ابتداء التجمد الى أن يتم تبقى حرارة السائل ثابتة وهذا ينشأ عن كون الحرارة الكامنة مدة السيحان تظهر ثانيا زمن التجمد

وجملة من السوائل كالكؤل والاتير لا تتجمد أصلا بأعظم برودة عرضت لها ومع ذلك فقد وصل ديسبير تزالى اعطاء الكؤل قواما حتى أن الاناء الحاوى له يمكن تنكيسه بدون أن يسيل منه الكؤل ببرودة متولدة من مخلوط أول أوكسيد الازوت السائل وحمض الكربونيك الصلب والاتير

(المبحث الخامس فى تكون الجليد)

الماء المقطر يتجمد فى درجة الصفر ويسمى حينئذ بالجليد لكن سنشاهد فى مبحث الاسباب التى تؤخر تجلد السوائل أن هناك جملة أسباب يمكنها أن تؤخر تجلد الماء

والجليد يظهر هذه الظاهرة المعتبرة وهى كونه أقل كثافة من الماء وفى الواقع قد تقدم ان الماء لا تنضم أجزاؤه الى بعضها بواسطة البرودة الا الدرجة ٤ + وبانتقاله من هذه الدرجة الى الصفر يتمدد أى يزداد حجمه وتمكث هذه الزيادة ويزداد أيضا زمن تجلده ويوجد أن حجم الجليد فى الصفر صار قدر حجم الماء فى درجة ٤ + ١,٠٧٥ مرة أعنى مرة وكسورا وبسبب هذا التمدد لا تكون كثافة الجليد الا ٠,٩٣٠ من كثافة الماء ولهذا يسبح الجليد على سطح الماء

وزيادة الحجم التى يأخذها الجليد عند تكونه تكون مصاحبة لقوة تمدد عظيمة بها تنفجر الاوانى الحاوية له وتشقق الاحجار التى ينخرم انتظامها بعد التجلد لا ينسب حدوثه الا للماء الذى نفذ فى مسام الاحجار وتجمد فيها

وقد أثبت وليام فى انكلترة قوة تمدد الجليد وذلك أنه أخذ بومبة وملأها بالماء وسدها سدا محكما بسدادة من الخشب ووضعها فى جو درجة حرارته منخفضة عن الصفر جملة درجات فشاهد أن السدادة انقذفت بقوة الى بعد عظيم وطفح الجليد على حوافى فتحة البومبة

(المبحث السادس فى الاسباب التى تؤخر تجمد السوائل)

على حسب طبيعة السوائل توجد جملة أسباب يمكنها أن تخفض درجة تجلدها أى تؤخر تجمدها والاسباب المذكورة هى الاجسام المذابة فى السوائل وعدم وجود الهواء الذائب والسكون التام والتحريك الشديد وزيادة الضغط

وظاهرة تأخر درجة التجمد هذه شوهدت فى الماء أولا لكنها وجدت أيضا فى السوائل الاخر

وتأثير الاملاح المحلولة يظهر فى ماء البحر الذى لا يتجمد الا فى درجة ٢,٥ — وأيضا اذا غلى محلول مشبع من كبريتات الصودا فى أنبوبة من زجاج مسحوبة الطرف لطرد الهواء منه ثم أغلقت على المصباح لمنع دخول الهواء وبرد المحلول فلا يتبلور الملح وان كان المحلول متشبعا لكن اذا كسر طرف الانبوبة ودخل الهواء تبلور الملح حالا وفى هذه التجربة الاخيرة يوجد فى زمن واحد تأثير الجسم المذاب وعدم وجود الهواء

ويكفى لتأخر درجة تجلد الماء جملة درجات أن يكون نقيا تام السكون وفى الواقع قد وضع غيلوساك مخبارا ملآنا بالماء المقطر فى مخلوط مبرد ووضع الجميع تحت مستودع الآلة المفرغة لتصاعد الهواء فشاهد نزول الماء الى درجة ١٢ — بل أخفض من ذلك بدون أن يتجمد لكن اذا وصلت لكتلته حينئذ حركة اهتزازية خفيفة تجمد جزء من السائل فى الحال وتشاهد هذه الظاهرة المعتبرة وهى أن ما بقى من الماء سائلا يرتفع بسرعة الى الصفر وينسب ارتفاع درجة الحرارة هذا الى الحرارة الكامنة التى تخلصت بتكون الجليد

والكبريت الذى يسيح ويتجمد على درجة ١١١ + يبقى سائلا الى الدرجة الاعتيادية متى برد ببطء مع سكونه وكذا الفصفور الذى يتجمد فى درجة ٤٤ + يمكن ابقاؤه سائلا الى درجة ٢٢ + فى الماء الساكن بالكلية وفى هذه الحالة اذا لمس الفصفور السائح بقضيب من الفصفور الصلب ابتدأ التجمد حالا فى محل الملامسة وسرى بسرعة فى جميع الكتلة وشاهد جيرتير أنه يحصل أيضا تجمد جميع الاجسام السائحة بدلك جسمين صلبين ببعضهما فى الكتلة السائحة أو بدلك جسم صلب بجدران الانبوبة السائح فيها الجسم

والتحريك السريع يمكنه أيضا منع تجمد السوائل وكذلك كل تأثير يعوق الاجزاء فى تحركها عن أن تأخذ انتظامها الضرورى فى حالة التجمد

ويمثل

ويمثل ذلك أمكن ديسبير ترتبريد الماء فى أنابيب شعرية ضيقة جدا لدرجة ٢٠ - بدون أن يتجمد ويمكن استعمال هذه التجربة لتوضيح كيفية مقاومة النباتات للتجلد فى الدرجات المنخفضة حيث ان الاوعية المحتوية على العصارة ضيقة جدا وبالجملة فقد وجد موسون فى الالمانيا أن الضغط الشديد لا يؤخر تجمد الماء فقط بل يمنعه من أن يتم

(المبحث السابع فى المخاليط المبردة)

اختفاء أى كمون الحرارة فى الاجسام عند انتقالها من حالة الصلابة الى حالة السيولة استعمل لاحداث برودة صناعية كثيرة الشدة أو قليلتها وتحصل هذه النتيجة بخلط الاجسام التى بعضها له ميل للبعض الآخر ويكون أحدها بالاقل صلبا مثال ذلك الماء وملح الطعام أو الجليد وملح أو حمض وملح فبالميل الكيماوى يسرع الذوبان حينئذ ويرفع الجزء الذى ذاب من باقى المخلوط مقدارا عظيما من الحرارة يصير كامنا وينتج من ذلك انخفاض فى درجة الحرارة يكون عظيما أحيانا

والجدول الآتى يبين مقادير وطبيعة الاجسام المستعملة لتحصيل انخفاض معلوم فى درجة الحرارة

أسماء الاجسام	المقادير بالوزن	درجات الحرارة
كبريتات الصودا	٨	من ١٠ + الى ١٧ -
حمض الكلورايدريك	٥	
جليد مجروش أو ثلج	٢	من ١٠ + الى ١٩ -
ملح طعام	١	
كبريتات الصودا	٣	من ١٠ + الى ١٩ -
حمض الازوتيك المضعف	٢	
كبريتات الصودا	٦	من ١٠ + الى ٢٦ -
أزوتات النوشادر	٥	
حمض أزوتيك مضعف	٤	
فصفات الصودا	٩	من ١٠ + الى ٢٩ -
حمض أزوتيك مضعف	٤	
كلورور الكالسيوم المسحوق	٤	من ١٠ + الى ٥١ -
جليد مجروش أو ثلج	٣	

والمخاليط المبردة كثيرة النفع فى الكيميا والطبيعة وفى الصنائع والتدبير الاهلى ويستعمل جهاز صغير لتحصيل الجليد فى جميع الفصول بواسطة حل كبريتات الصودا فى حمض الكلورايدريك وكل ستة كيلوجرام من هذا الملح وخمسة من الحمض تكفى لتحصيل ٥ كيلوجرام الى ٦ من الجليد فى الساعة الواحدة ويتركب الجهاز المذكور من اسطوانة معدنية منقسمة الى خمس محلات مترا كزة فيوضع الماء المراد تجمده فى المركز والمخلوط المبرد فى المحل التالى له والمحل الثالث يحتوى على ماء أيضا وبالجملة فيوضع فى المحل الظاهرى جسم قليل التوصيل للحرارة كالقطن مثلا ليمنع مرور الحرارة الآتية من الخارج

(المبحث الثامن فى الابخرة)

الابخرة هى الحالة الهوائية للسوائل المنتقلة اليها بتأثير الحرارة كالاتير والكؤل والماء والزئبق وتسمى سوائل طيارة السوائل التى لها خاصية الانتقال الى الحالة الهوائية وسوائل ثابتة السوائل التى لا تعطى أبخرة على أى درجة من الحرارة كالزيوت الدسمة وهناك أجسام صلبة كالجليد والزرنيخ والكافور والمواد الراتحية تعطى أبخرة بدون أن تنتقل الى حالة السيولة

وكثير من السوائل كالاتير والكؤل يعطى أبخرة على جميع درجات الحرارة والماء يتبخر أيضا على درجات كثيرة تحت الصفر والزئبق يتبخر على الدرجة الاعتيادية بل على الدرجات المنخفضة ولاثبات ذلك تسد زجاجة وضع فيها قليل من الزئبق بسدادة سطحها السفلى مغطى بورقة من الذهب فبعد زمن يسير تبيض ورقة الذهب بأبخرة الزئبق وحمض الكبريتيك لا يتبخر على الدرجة الاعتيادية ولو فى الفراغ والذى يثبت ذلك أنه اذا وضع تحت ناقوس الآلة المفرغة جفنتان احداهما تحتوية على حمض الكبريتيك والاخرى على ماء الباريت وعمل الفراغ فلا يتعكر ماء الباريت مادامت الحرارة أنزل من درجة ٣٠ + وهذا يدل على أنه لم يحدث تبخر أصلا من حمض الكبريتيك والا فبمجرد حدوث التبخر يذوب البخار فى السائل ويكون فيه كبريتات الباريت العديم الذوبان ويتعكر السائل

والابخرة شفافة كالغازات وعديمة اللون على العموم ولم يوجد الا عدد قليل من السوائل الملونة التى تعطى أبخرة متلونة

(المبحث التاسع فى التبخر)

التبخر على العموم هو انتقال الجسم من حالة السيولة الى الحالة البخارية لكن نقصد بخصوص التبخر كل ما يحصل من البخار ببطء من سطح سائل وبالغلى كل ما يحصل بسرعة من البخار من نفس كتلة السائل

وسنشاهد أن الغلى لا يحصل تحت ضغط الجو المعتاد الا على درجة حرارة معينة مثل السيحان بخلاف التبخر فانه يحصل فى درجات الحرارة المختلفة ومع ذلك نظهر انقطاع جميع التبخر بعد بعض درجات من التبريد فالزئبق مثلا لا يعطى أبخرة أنزل من ١٠ درجات تحت الصفر وحمض الكبريتيك لا يعطى أبخرة أنزل من درجة ٣٠ كما تقدم وسنشاهد أنه يكن مقدار عظيم من الحرارة مدة التبخر كما فى السيحان وهذا يدل على أنه استعمل مقدار منها فى عمل التبخر ليساعد قوة الجزيئات الشديدة

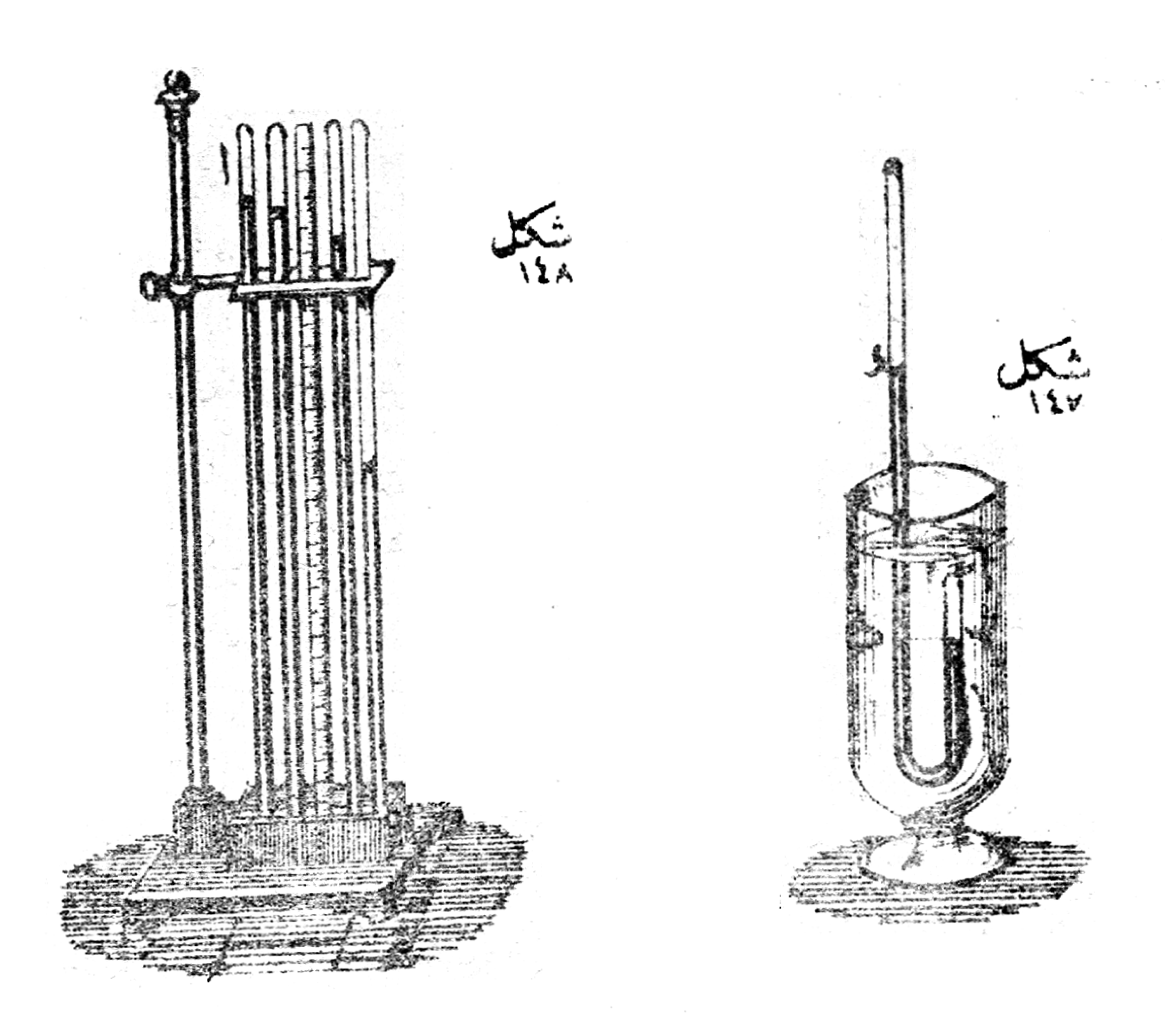
(المبحث العاشر فى قوة مرونة البخار)

الابخرة كالغازات لها قوة مرونة بها تحدث على جدران الاوانى الحاوية لها ضغوطا عظيمة أو قليلة ولاجل اثبات شدة الابخرة وصيرورتها محسوسة بالبصر تملا أنبوبة من زجاج منحنية كالمص كما فى شكل ١٤٧

الى نصفها بالزئبق ثم تنفذ قطرة من الاتير فى شعبتها القصيرة المسدودة وتغمر الانبوبة فى حمام من الماء درجة حرارته ٤٥ + تقريبا فينخفض الزئبق حينئذ ببطء فى الشعبة القصيرة وتمتلئ مسافة ا ب بغاز هيئته كالهواء بالكلية توازن قوة مرونته عمود الزئبق ث ء كما توازن الضغط الجوى الواقع على ء وهذا الغاز ليس شيئا آخر خلاف بخار الاتير فاذا برد الماء أو أخرجت الانبوبة من الحمام وكان الزمن باردا شوهد زوال بخار الاتير المالئ لمسافة ا ب بسرعة وتكونت قطرة الاتير ثانيا وبالعكس اذا سخن ماء الحمام زيادة انخفض استواء الزئبق أسفل نقطة ب وهذا يدل على ازدياد شدة البخار

(المبحث الحادى عشر فى تكون الابخرة فى الفراغ)

فى التجربة المتقدمة لم يحصل الانتقال الى الحالة البخارية الا ببطء ويكون كذلك أيضا متى كان السائل القابل للتطاير معرضا للهواء وفى الحالتين يكون الضغط الجوى هو العائق للتصعيد ولكن ليس كذلك اذا كانت السوائل موضوعة فى الفراغ وحيث ان قوة مرونة البخار لا يقابلها حينئذ أدنى معارض فيكون تكونه حالا ولاثبات ذلك تغمر جملة أنابيب بارومترية مملوءة بالزئبق فى حوض واحد كما فى شكل ١٤٨



وتحفظ منها واحدة كانبوبة ا مثلا لتستعمل بارومترا ثم يدخل فى الباقى بعض نقط من الماء ومن الكؤل ومن الاتير على التوالى فيشاهد أنه بمجرد وصول السائل للفراغ البارومترى ينخفض استواء الزئبق فى كل من الانابيب كما يظهره الشكل المذكور وحيث ان ثقل السائل الذى أدخل ليس هو الذى خفض الزئبق لانه كسر قليل جدا بالنسبة لثقل الزئبق المنزوى فقد تولد حينئذ من كل سائل بخار فجائى قوة مرونته دفعت عمود الزئبق وهذه التجربة تثبت زيادة عن ذلك أن انخفاض الزئبق ليس واحدا فى الثلاث أنابيب فيكون أكثر فى أنبوبة الكؤل مما فى أنبوبة الماء وفى أنبوبة الاتير أكثر مما فى الانبوبتين الاخيرتين وحينئذ يمكننا وضع القانونين الآتيين الاول أن السوائل تتبخر فى الفراغ حالا الثانى أن أبخرة السوائل المختلفة لا تكون شدتها واحدة فى الحرارة المتساوية فتكون شدة بخار الاتير مثلا فى درجة ٢٠ + أعظم من شدة بخار الماء ٢٥ مرة تقريبا

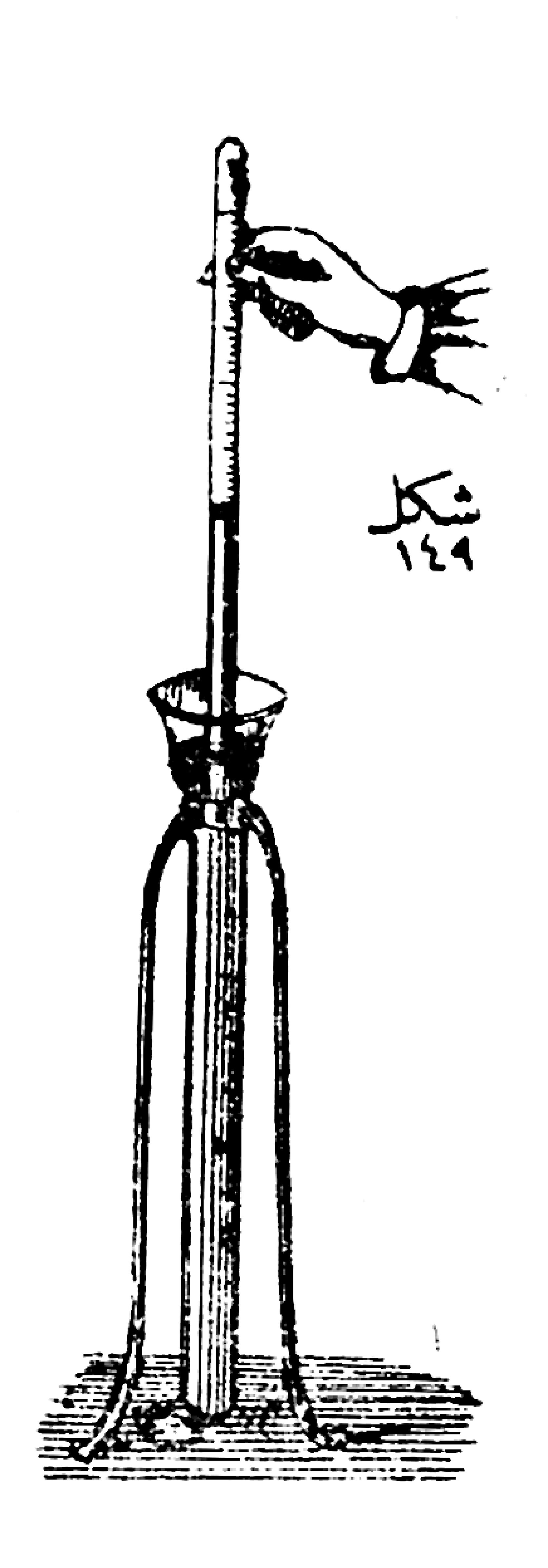
(المبحث الثانى عشر فى البخار فى حالة التشبع ونهاية شدته)

متى أدخل فى أنبوبة البارومتر سائل طيار كالاتير وكان بمقدار قليل جدا تصاعد جميعه حالا وانخفض عمود الزئبق لكنه لا يبلغ غاية انخفاضه لانه اذا أدخل ثانيا مقدار قليل من الاتير شوهد ازدياد الانخفاض وبالمداومة هكذا يأتى زمن يمتنع فيه تصاعد الاتير الذى أدخل فى الانبوبة ويمكث فى الحالة السائلة وحينئذ فيوجد لكل درجة حرارة معينة حد لكمية البخار التى تتكون فى مسافة معلومة ويقال حينئذ ان هذه المسافة متشبعة ويشاهد زيادة على ذلك وقوف انخفاض عمود الزئبق فى الزمن الذى يمتنع فيه تصاعد الاتير وحينئذ فيوجد أيضا حد لشدة البخار وهذا الحد يتغير مع تغير درجة الحرارة كما سيأتى اثبات ذلك فى الكلام على شدة بخار الماء لكنه فى درجة الحرارة المعلومة يكون غير متعلق بالضغط

ولاجل اظهار بقاء الحرارة ثابتة فى المسافة المغلقة المتشبعة بالبخار المحتوية على سائل

تصحيح
ولاجل تعرف ان
فى المسافة المغلقة
المتشبعة بالبخار
المحتوية على سائل
بمقدار زائد مع
بقاء الحرارة ثابتة
توجد نهاية شدة

بمقدار زائد ووجود نهاية الشدة التى لا يتجاوزها البخار مهما كان الضغط تغمر أنبوبة بارومترية فى حوض عميق كما فى شكل ١٤٩


شكل ١٤٩

ملآنة بالزئبق ابتداء وينفذ فيها كمية كافية من الاتير بحيث يبقى منه بعد تشبع الخزنة البارومترية كمية زائدة سائلة ويعرف ارتفاع الزئبق فى الانبوبة بواسطة مسطرة مدرجة كائنة على نفس الانبوبة

وحيث انه اذا غمرت الانبوبة زيادة أو رفعت بقى ارتفاع عمود الزئبق ثابتا فى الحالتين تكون حينئذ شدة البخار واحدة فى الحالتين لان انخفاض الزئبق لا ينقص بزيادة غمر الانبوبة ولا يزيد بارتفاعها وينتج من ذلك أنه متى كان البخار المنحصر فى مسافة متشبعة مضغوطا

رجع جزء منه لحالة السيولة وانه اذا نقص الضغط تصاعد جزء السائل الزائد المتبقى وتشبعت ثانيا المسافة المشغولة بالبخار لكن فى كلتا الحالتين تبقى شدة البخار وكثافته ثابتة

(المبحث الثالث عشر فى البخار الغير متشبع)

بمقتضى ما تقدم تظهر الابخرة على حالتين متميزتين على حسب كونها متشبعة أو غير متشبعة

ففى الحالة الاولى وهى حالة التشبع أى الحالة التى تكون فيها الابخرة ملامسة لسوائلها تخالف الابخرة الغازات بالكلية حيث انها فى الحرارة المعلومة لا تنقبض ولا تتمدد وتبقى قوة مرونتها وكثافتها ثابتة

وفى الحالة الثانية بالعكس وهو أن الابخرة الغير متشبعة الغير ملامسة لسوائلها تكون مشابهة بالكلية للغازات حيث ان لها جميع خواص الغازات وفى الواقع اذا اعيدت التجربة المتقدمة فى الشكل السابق فى مبحث البخار فى حالة التشبع ولم يدخل فى الانبوبة الا كمية قليلة من الاتير بحيث لا يصل البخار المتكون الى حالة التشبع ورفعت الانبوبة حينئذ ارتفاعا خفيفا شوهد صعود استواء الزئبق وهذا يدل على أن قوة مرونة البخار نقصت وكذلك ينخفض استواء الزئبق بغمر الانبوبة زيادة فالبخار ينضغط هنا بتمامه مثل الغاز وتنقص شدته متى ازداد حجمه وحيث يشاهد فى الحالتين أن الحجم الذى يأخذه البخار يكون على حسب عكس الضغط فيستنتج من ذلك أن الابخرة الغير متشبعة تكون معرضة لقانون مريوط

وبالجملة اذا سخن بخار غير متشبع يشاهد أن تزايد حجمه يكون عين ترتيب تزايد حجم الغازات وأن العدد ٠٠٠٣٦٧ . الذى يبين مكر رتمدد الهواء يمكن أخذه لمكر رتمدد الابخرة

ويشاهد حينئذ أن الابخرة الغير متشبعة تكون مشابهة بالكلية للغازات وأنه يمكن أن تستعمل لها جميع المعادلات المتعلقة بانضغاط وتمدد الغازات المتقدمة فى قانون مريوط وفى تمدد الغازات لكن ينبغى أن يتذكر أنه يوجد دائما حد للضغط أو التبريد تنتقل به الابخرة الغير متشبعة لحالة التشبع ويكون لها حينئذ غاية الشدة والكثافة التى لا تتجاوزها الا اذا كانت الابخرة ملامسة لسوائلها وارتفعت درجة حرارتها

*(المبحث

(المبحث الرابع عشر فى شدة بخار الماء تحت الصفر)

لاجل قياس قوة مرونة بخار الماء تحت الصفر استعمل غيلوساك أنبوبتين بارومتريتين ملآنتين بالزئبق ومغمورتين فى حوض واحد كما فى شكل ١٥٠
احداهما المستقيمة الخالية بالكلية من الهواء والرطوبة تستعمل لقياس ضغط الجو والثانية منحنية بحيث ينغمر جزء الخزنة البارومترية فى مخلوط مبرد فاذا نفذ قليل من الماء فى الانبوبة المنحنية يشاهد أن استواء الزئبق فى هذه الانبوبة يكون أكثر انخفاضا مما فى أنبوبة ا بمقدار يختلف مع اختلاف درجة حرارة المخلوط المبرد

ففى الصفر يكون الانخفاض بالمليمتر ٤٫٦٠

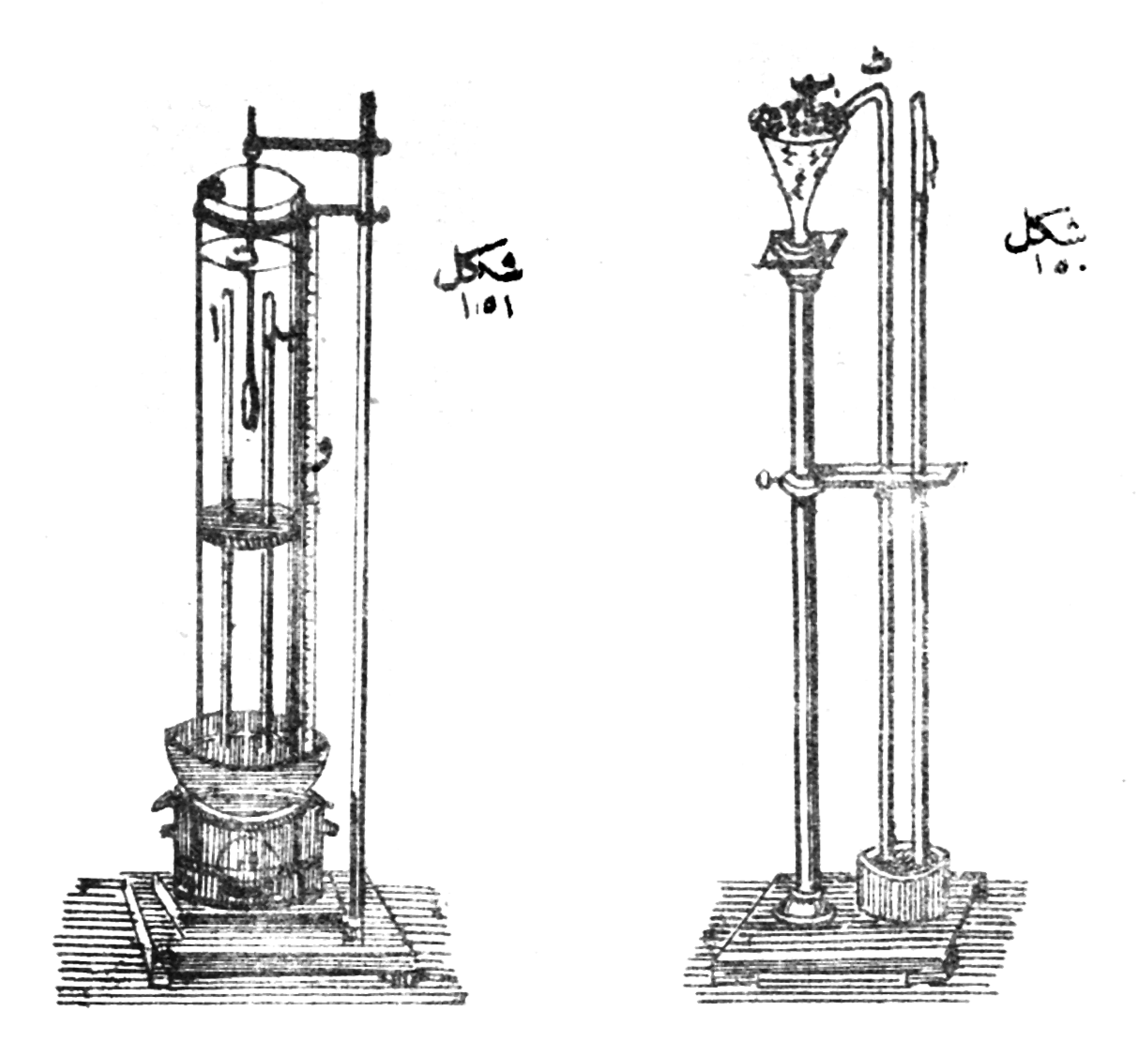
وفى ١٠	−	١٫٩٦
وفى ٢٠	−	٠٫٨٤
وفى ٣٠	−	٠٫٣٠

وهذا الانخفاض الذى ينسب ضرورة لشدة البخار فى الخزنة البارومترية ب ث يثبت وجود بخار الماء أيضا فى الهواء فى درجات الحرارة المنخفضة جدا

ومحقق فى التجربة المذكورة أن جزء ب وجزء ث من الخزنة البارومترية التى فيها البخار غير مشتركين فى درجة حرارة المخلوط المبرد أعنى أن ب فى درجة برودة أكثر من الدرجة التى فيها ث لكن سنشاهد أنه متى كان اناآن مستطرقين ببعضهما ودرجة حرارتهما غير متساوية كانت شدة البخار واحدة فى الاناثين وتنسب دائما الى الاكثر انخفاضا من الحرارتين

(المبحث الخامس عشر فى قياس شدة بخار الماء فيما بين الصفر ودرجة ١٠٠ بطريقة دالتون)

قاس دالتون قوة مرونة البخار من الصفر الى درجة ١٠٠ بواسطة الجهاز الموضح فى شكل ١٥١

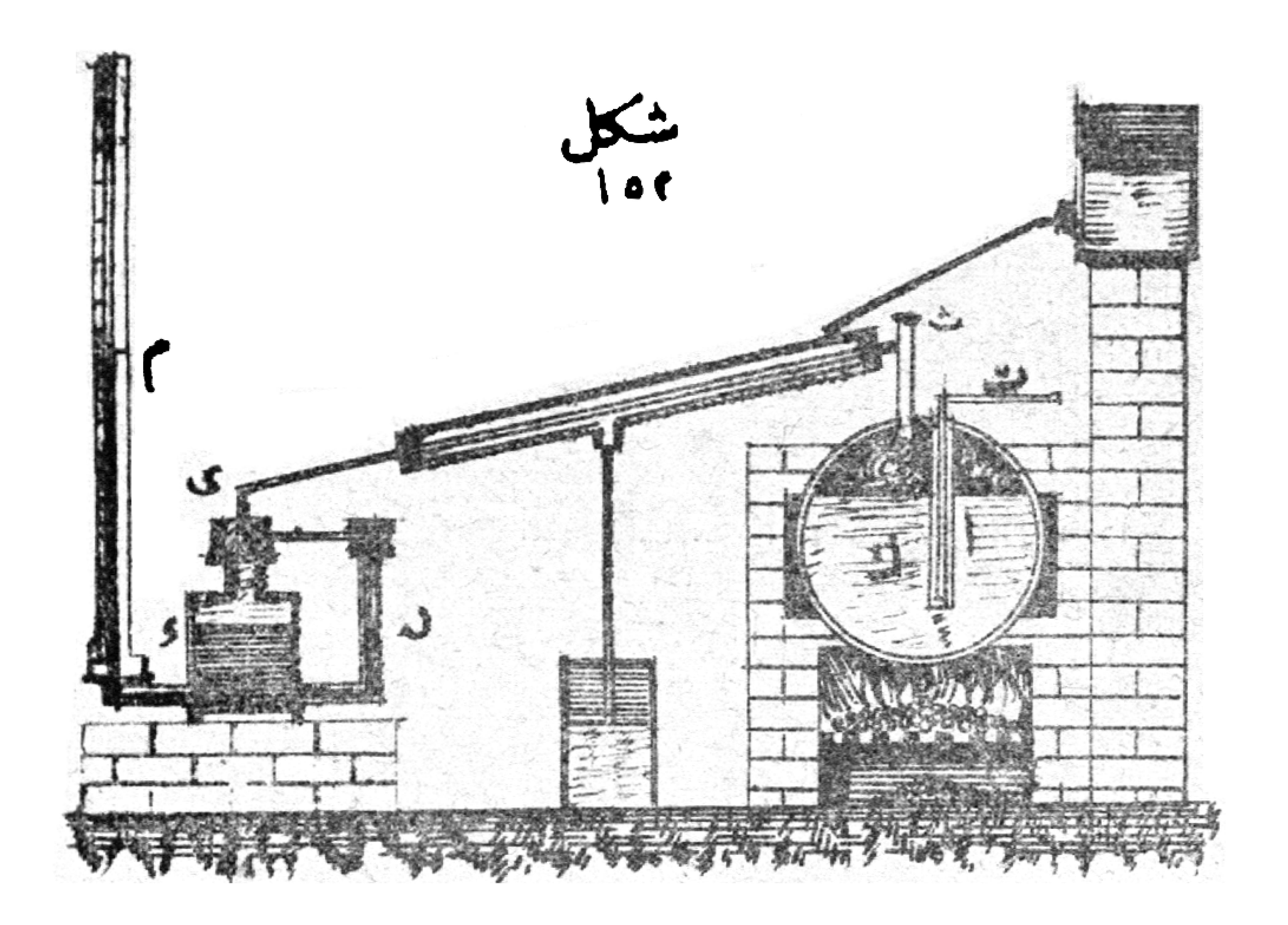


وفيه الانبوبتان البارومتريتان ا , ب مغمورتان فى حلة من الزهر مملاّنة بالزئبق موضوعة على فرن وبارومتر ب خال بالكلية عن الهواء والرطوبة وبارومترا تنفذ فيه كمية قليلة من الماء وهذان البارومتران محصوران فى غلاف من الزجاج ملآن بالماء وفى مركز هذا الغلاف مغمور ترمومتر ت الذى يبين حرارة السائل فبتسخين الحلة تدريجا وبالتبعية ماء الغلاف يتبخر الماء الذى فى أنبوبة ا وكلما زادت شدّة البخار انخفض الزئبق فحينئذ تبين درجات الانخفاض الذى يحصل فى أنبوبة ا أسفل استواء ب درجة درجة على مسطرة و مع الانتباه لترجيع ارتفاع الزئبق فى أنبوبة ب لدرجة الصفر فى كل مشاهدة فتعلم شدّة البخار من اختلاف الاستواآت المشاهدة وبهذا العمل صنع دالتون جدول قوّة مرونة بخار الماء من الصفر لدرجة ١٠٠ +

(المبحث السادس عشر فى قياس قوّة بخار الماء فوق درجة ١٠٠ بواسطة دولونغ وأرجو)

شكل ١٥٢

يوضح



يوضح القطاع الرأسى للجهاز الذى استعمله دولونغ وأرجو لقياس قوة مرونة بخار الماء أعلى من درجة ١٠٠ ويتركب هذا الجهاز من قزان من النحاس الاحمر ك ثخين الجدران يسع ٨٠ ليترا ومن ماسورتى بندقية ا مشاهدة احداهما فقط فى الشكل المذكور وهما مغمورتان فى ماء القزان ومثبتتان فى جدارنه تثبيتا قويا ومسدودتان من جزئيهما السفلى وملاتنان بزئبق موضوع فيه ترمومتران ت يدلان على حرارة الماء والبخار فى القزان

وتقاس شدة البخار بواسطة المانومتر ذى الهواء المنحصر م كما تقدم فى الكلام على قاعدة مريوط وهذا المانومتر درج بالتجربة من قبل ووفق على طست من زهر ى ملآن بالزئبق

ولاجل معرفة ارتفاع الزئبق فى الطست يوصل بين قمته وقاعدته بأنبوبة من بلور ن يكون فيها الاستواء دائما واحدا كما يكون فى الطست

وبالجملة من أنبوبة من نحاس ى توصل الجزء العلوى من الطست ء بالانبوبة الرأسية ث الخارجة من القزان الخارج منه البخار وأنبوبة ى والجزء العلوى من الطست ء مملوآن بالماء الذى يجعل مستمرا فى درجة حرارة منخفضة بأن يدور حول الانبوبة تيار من الماء البارد يسيل من حوض موضوع على يمين الشكل المذكور فالبخار الذى

يتصاعد من أنبوبة ث يحدث ضغطا على ماء أنبوبة ى وهذا الضغط ينتقل الى الماء والزئبق الكائنين فى الطست ء فيصعد الزئبق فى المانومتر وبأخذ درجات الحرارة المبينة بالترمومترين وملاحظة المانومتر فى زمن واحد قاس كل من دولونغ وارجو حينئذ شدة بخار الماء المقابلة لدرجة حرارة معلومة لغاية ٢٤ جوّا وبعد ذلك قدّرا بواسطة الحساب لغاية ٥٠ جوّا

وفى هذين الجدولين الآتيين تعلم شدة بخار الماء تبعا لرينيول من درجة ١٠ – الى درجة ١٠٠ + ثم من درجة ١٠٠ الى درجة ٩ر٢٣٠

(شدة بخار الماء من درجة ١٠ – الى درجة ١٠٠ + تبعا لرينيول)

درجات الحرارة	الشدة بالمليمترات من الزئبق فى درجة ٠ م الصفر	درجات الحرارة	الشدة بالمليمترات من الزئبق فى درجة ٠ م الصفر
١٠ –	٢،٠٩٣	٤٥	٧١،٣٩١
٥ –	٣،١٣١	٥٠	٩١،٩٨٢
٠	٤،٦٠٠	٥٥	١١٧،٤٧٨
٥ +	٦،٥٣٤	٦٠	١٤٨،٧٩١
١٠ +	٩،١٦٥	٦٥	١٨٦،٩٤٥
١٥ +	١٢،٦٩٩	٧٠	٢٣٣،٠٩٣
٢٠ +	١٧،٣٩١	٧٥	٢٨٨،٥١٧
٢٥ +	٢٣،٥٥٠	٨٠	٣٥٤،٦٤٣
٣٠ +	٣١،٦٤٨	٨٥	٤٣٣،٠٤١
٣٥ +	٤١،٨٢٧	٩٠	٥٢٥،٤٥٠
٤٠ +	٥١،٩٠٦	٩٥	٦٦٣،٧٧٨
		١٠٠	٧٠٠،٠٠٠

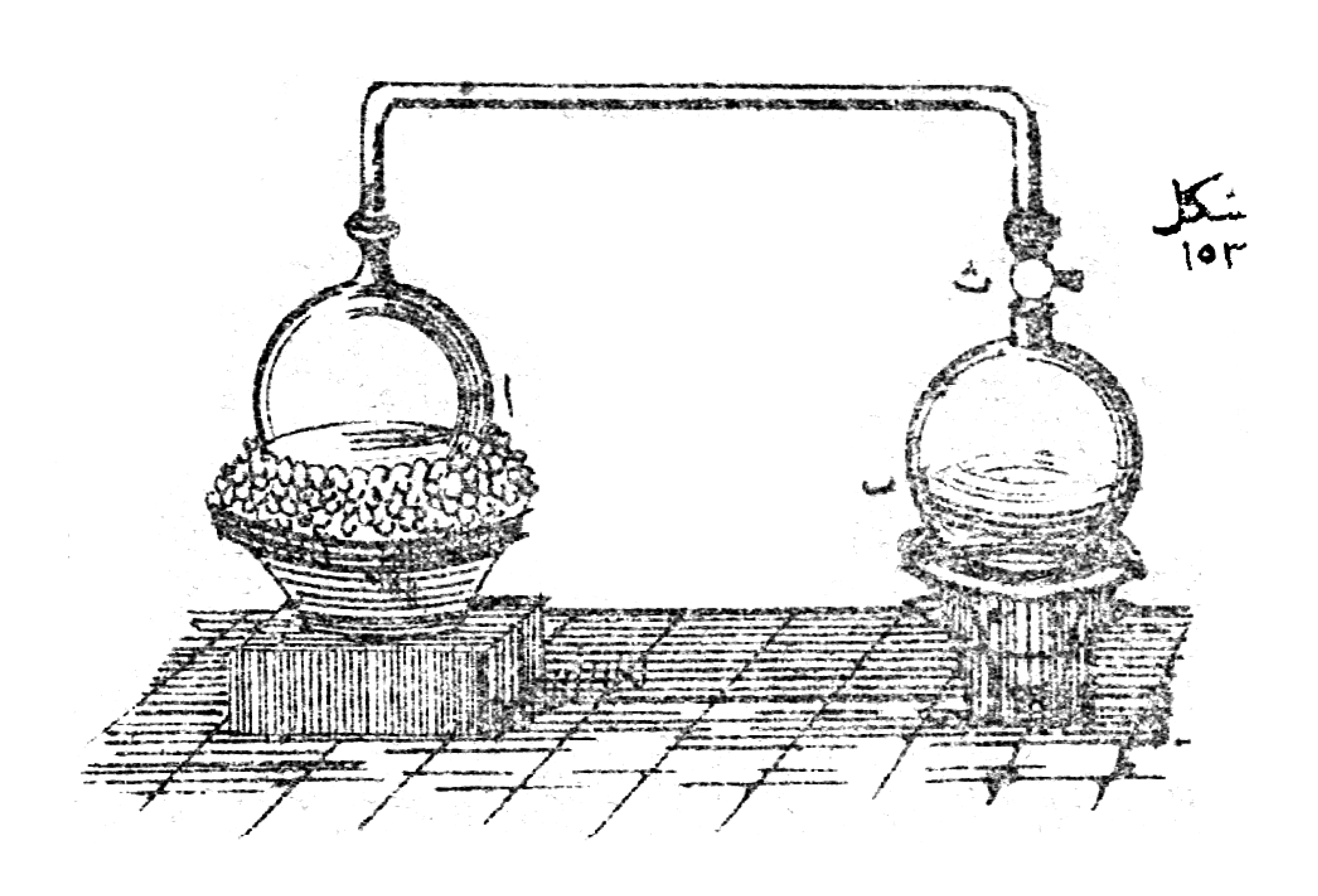
(الشدة

(الشدة بالجو من درجة ١٠٠ + الى درجة ٢٣٠٫٩ + تبعا لرينيول)

درجات الحرارة	اعداد الجو	درجات الحرارة	اعداد الجو
١٠٠	١	١٩٨٫٨	١٥
١٢٠٫٦	٢	٢٠١٫٩	١٦
١٣٣٫٩	٣	٢٠٤٫٩	١٧
١٤٤٫٠	٤	٢٠٧٫٧	١٨
١٥٢٫٢	٥	٢١٠٫٤	١٩
١٥٩٫٢	٦	٢١٣٫٦	٢٠
١٦٥٫٣	٧	٢١٥٫٥	٢١
١٧٠٫٨	٨	٢١٧٫٩	٢٢
١٧٥٫٨	٩	٢٢٠٫٣	٢٣
١٨٠٫٣	١٠	٢٢٢٫٥	٢٤
١٨٤٫٥	١١	٢٢٤٫٧	٢٥
١٨٨٫٤	١٢	٢٢٦٫٨	٢٦
١٩٢٫١	١٣	٢٢٨٫٩	٢٧
١٩٥٫٥	١٤	٢٣٠٫٩	٢٨

(المبحث السابع عشر فى قوة البخار فى انائين مستطرقين ببعضهما غير متساويين فى الحرارة)

متى كان انا آن مغلقين ومحتويين على سائل واحد مختلف الحرارة و بينهما استطراق كانت الشدة العامة للبخار المتكون فى هذين الانائين ليست هى كما يظن الشدة المتوسطة بين الشدتين الموجودتين فى كل منهما اذا كانا غير مستطرقين فاذا كان دورقان مثلا أحدهما ا شكل ١٥٣



محتو على ماء درجته محفوظة فى الصفر بوضعه فى الجليد الذائب والثانى ب محتو على ماء درجته ١٠٠ فمادام هذان الدورقان غير مستطرقين ببعضهما تكون الشدة فى الدورق الاول ٦ر٤ ميليمتر وفى الثانى ٧٦٠ ميليمترا لكن بمجرد استطراقهما ببعض بفتح حنفية ث ينحذف بخار دورق ب بالنظر لزيادة شدته الى دورق ا ويتكثف فيه فى الحال لان درجته فى الصفر وينتج من ذلك أن البخار لا يمكنه أن يكتسب فى دورق ب شدة تزيد على شدة بخار دورق ا ويوجد حينئذ تقطير من ب الى ا بدون تزايد الشدة

ويمكن حينئذ وضع هذه القاعدة العامة وهى أنه متى كان اناآن محتويين على سائل واحد بمقدار زائد وحرارتهما مختلفة وبينهما استطراق كانت شدة البخار واحدة فى هذين الاناءين ومساوية للشدة التى تنسب لاخفضهما حرارة

(المبحث الثامن عشر فى التبخر والاسباب التى تقويه)

التبخر هو استحالة السائل ببطء الى بخار وبهذا التبخر تجف الاقمشة المبتلة المعرضة للهواء ويخلو الاناء الملآن بالماء المفتوح عن الماء بالكلية فى نهاية بعض زمن وتنسب الابخرة التى تصعد فى الجو وتتكثف فيه سحبا وتسقط مطرا للتبخر الذى ينشأ على سطح البحار والبرك والانهار والارض

والاسباب التى تؤثر على سرعة تبخر السائل وتقويه أربعة الاول الحرارة الثانى كمية البخار

البخار المنتشرة من نفس السائل من قبل في الجو المحيط به الثالث تجدد الهواء الرابع اتساع السطح المتبخر

فزيادة الحرارة تقوي التبخر بسبب زيادة قوة المرونة التي تحدثها في الابخرة ولاجل معرفة تأثير السبب الثاني نقول ان تبخر السائل يصير معدوما في مسافة مشحونة ببخار من نفس هذا السائل وأنه يصل لغايته في هواء خال بالكلية عن هذا البخار

ويفتح من ذلك أنه فيما بين هاتين الحالتين تتغير سرعة التبخر على حسب كون الجو المحيط مشحونا من قبل كثيرا أو قليلا بنفس البخار

وأما تجدد الهواء فيفسر تأثيره بنفس هذه الكيفية لانه اذا كان الهواء أو الغاز المحيط بالسائل غير متجدد انشحن حالا وانقطع التبخر بالكلية وتأثير السبب الرابع واضح

(المبحث التاسع عشر في الغليان ونواميسه)

الغليان هو تولد البخار بسرعة في نفس كتلة السائل على شكل كرات غليظة أو دقيقة فمتى سخن سائل كالماء مثلا من جزئه السفلي فأول كرات تظهر ليست هي الا من تصاعد الهواء الذائب في الماء وبعد ذلك ترتفع كرات صغيرة من البخار حالا من جميع نقط الجدران المسخنة لكن باجتيازها الطبقات العليا التي حرارتها أكثر انخفاضا تتكثف فيها قبل أن تصل للسطح فهذا التكون والتكثف المتعاقبان للكرات الاولى من البخار هما اللذان يسببان الازيز الذي يسبق الغليان عادة وأخيرا ترتفع كرات غليظة وتنفجر على السطح وهذا الذي يكون ظاهرة الغليان كما يتضح من شكل ١٥٤

شكل ١٥٤

وجميع السوائل القابلة لان تغلي تظهر الثلاث نواميس الآتية التي تثبت بالتجربة

الاول ان درجة حرارة الغليان تزداد أي تتأخر مع ازدياد الضغط

الثاني أن الغليان في الضغط

المعلوم لا يبتدئ الا فى درجة حرارة معينة تختلف من سائل الى آخر لكنها تكون دائما واحدة للسائل الواحد فى الضغوط المتساوية الثالث انه من زمن ابتداء الغليان تبقى الحرارة ثابتة مهما كانت شدة ينبوع الحرارة

(درجات الغليان فى ضغط ٠٫٧٦٠ مترا)

	درجة
حمض الكبريتوز	١٠ —
اتير كلورايدريك	١١ +
حمض كبريتيك انيدرى	٢٥ +
اتير كبريتيك نقى	٣٥٫٥ +
كبريتور الكربون	٤٨ +
كلوروفورم	٦٣٫٥ +
كؤول	٧٩ +
بنزين	٨٠ +
حمض الازوتيك الاول الايدراتى	٨٦ +
ماء مقطر	١٠٠ +
عطر الترمنتينا	١٥٧ +
فصفور	٢٩٠ +
حمض كبريتيك مركز	٣٢٥ +
زئبق فى الترمومتر الهوائى	٣٥٠ +
كبريت	٤٠٠ +
خارصين	١٠٤٠ +

وهنالك جملة أسباب يمكنها أن تغير درجة حرارة غليان السائل وذلك كالاجسام الذائبة فيه وطبيعة الاوانى وعدم وجود هواء أو غاز ذائب فى السائل والضغط وسنشرح على التوالى تأثير هذه الاسباب المختلفة على الماء بالخصوص

(المبحث العشرون فى تأثير الاجسام الذائبة على درجة الغليان)

متى كان الجسم الذائب فى السائل غير قابل للتطاير أو كان أقل تطايرا من السائل ازداد تأخير غليان هذا السائل كثيرا كلما احتوى على مقدار كثير من الجسم الذائب فالماء

الذى

الذى يغلى فى درجة ١٠٠ اذا كان نقيا فانه لا يغلى الا على الدرجات الآتية متى كان متشبعا بأملاح مختلفة

	درجة
الماء المتشبع بملح الطعام يغلى على	١٠٩
الماء المتشبع بازوتات البوتاسا يغلى على	١١٦
الماء المتشبع بكربونات البوتاسا يغلى على	١٣٥
الماء المتشبع بكلورور الكالسيوم يغلى على	١٧٩

والمحاليل الحمضية تظهر نتائج مشابهة لما ذكر لكن الاجسام المتعلقة فى السائل فقط كالمواد الترابية ونشارة الخشب لا ترفع درجة حرارة الغليان

ومن المهم أن يلاحظ هنا تجارب ردبيرج المتقدمة فى مبحث تعيين درجة المائة التى أثبت فيها أنه متى كانت حرارة غليان الماء أعلى من درجة ١٠٠ + بتأثير الاجسام الذائبة فيه تكون حرارة البخار المتصاعد منه دائما فى درجة ١٠٠ + كما تكون اذا كان الماء نقيا والضغط ٠,٧٦٠ مترا

(المبحث الحادى والعشرون فى تأثير طبيعة الاوانى على درجة الغليان)

شاهد المعلم غيلوساك أن الماء يغلى فى أوانى الزجاج على درجة حرارة أكثر ارتفاعا مما فى الاوانى المعدنية ونسب هذه الظاهرة الى كثرة ميل الزجاج للماء ولما أخذ لدرجة ١٠٠ + حرارة غليان الماء المقطر فى اناء من نحاس فى ضغط ٠,٧٦٠ مترا وجد أن هذا السائل لا يغلى فى دورق من زجاج فى الضغط المذكور الا على درجة ١٠١ + واذا نظف الاناء الزجاج بحمض الكبريتيك المتركز أو بالبوتاسا أمكن ارتفاع حرارة الماء فيه الى درجة ١٠٥ + بل الى درجة ١٠٦ وعلى العموم اذا وضعت بعض قطع معدنية فى قاع الدورق الزجاج كفت لترجيع حرارة الغلى لدرجة ١٠٠ + ومنعت فى زمن واحد النقزات الشديدة المصاحبة لغليان المحاليل الملحية أو الحمضية فى الاوانى الزجاجية

وحرارة البخار لا تتأثر بالحرارة التى يكتسبها الماء فى الاوانى الزجاجية وتكون فى ضغط ٠,٧٦٠ مترا ١٠٠ درجة أيضا كما فى الاوانى النحاسية

(المبحث الثانى والعشرون فى تأثير عدم وجود الهواء على درجة الغليان)

شوهد فى مبحث الاسباب التى تؤخر تجمد السوائل أنه متى كان الماء خاليا عن الهواء امكن تأخر درجة تجمده جملة درجات وبناء على ذلك فبعدم وجود الهواء فى الماء تتغير أيضا درجة غليانه ودلوك هو أوّل من نبه على أنّ الماء الفقود هواؤه بالغلى ومحصرا فى دورق من زجاج طويل العنق يمكنه أن يصل الى درجة ١١٢ بدون أن يأخذ فى الغليان

والمعلم دونى درس سنة ١٨٤٦ نفس هذه الظاهرة بواسطة أنبوبة من زجاج ا ب شكل ١٠٠



منحنية أحد الطرفين وطرفها الثانى منته بكرة غليظة من زجاج وبأخرى أصغر منها بكثير منتهية بطرف دقيق مسحوب وقبل غلق هذه الكرة الصغيرة يدخل الماء فى الانبوبة بنفس عملية الترمومتر الكؤلى وبعد ذلك يغلى زمنا يسيرا لطرد جميع الهواء من الانبوبة والكرتين ثم يغلق الطرف المسحوب حينئذ على المصباح فيبقى الماء فى الطرف المنحنى ويبقى البخار الضعيف الشدّة جدّا فى أنبوبة ا ب وفى الكرتين فقط وحينئذ فاذا غمر جزء ا ث الملآن بالماء فى حمام متركز من كلورور الكالسيوم وسخن بالتدريج وصل الحمام لدرجة ١٣٠ بدون أن يظهر أدنى غليان فى الانبوبة ولم يحصل فيها الغليان فجأة الا على درجة ١٣٨ تقريبا وينقذف الماء فى الكرتين وينكسران اذا لم تكن مقاومتهما كافية

ولاحداث نفس هذه الظاهرة يغطى الماء الفاقد الهواء بواسطة الغلى بطبقة من الزيت ويسخن فيصل لدرجة ١٢٣ بدون أن يبتدئ فى الغلى لكن تحصل ثورة عظيمة من البخار بها ينقذف جزء من السائل خارج الاناء الحاوى له

(المبحث الثالث والعشرون فى تأثير الضغط على درجة الغليان)

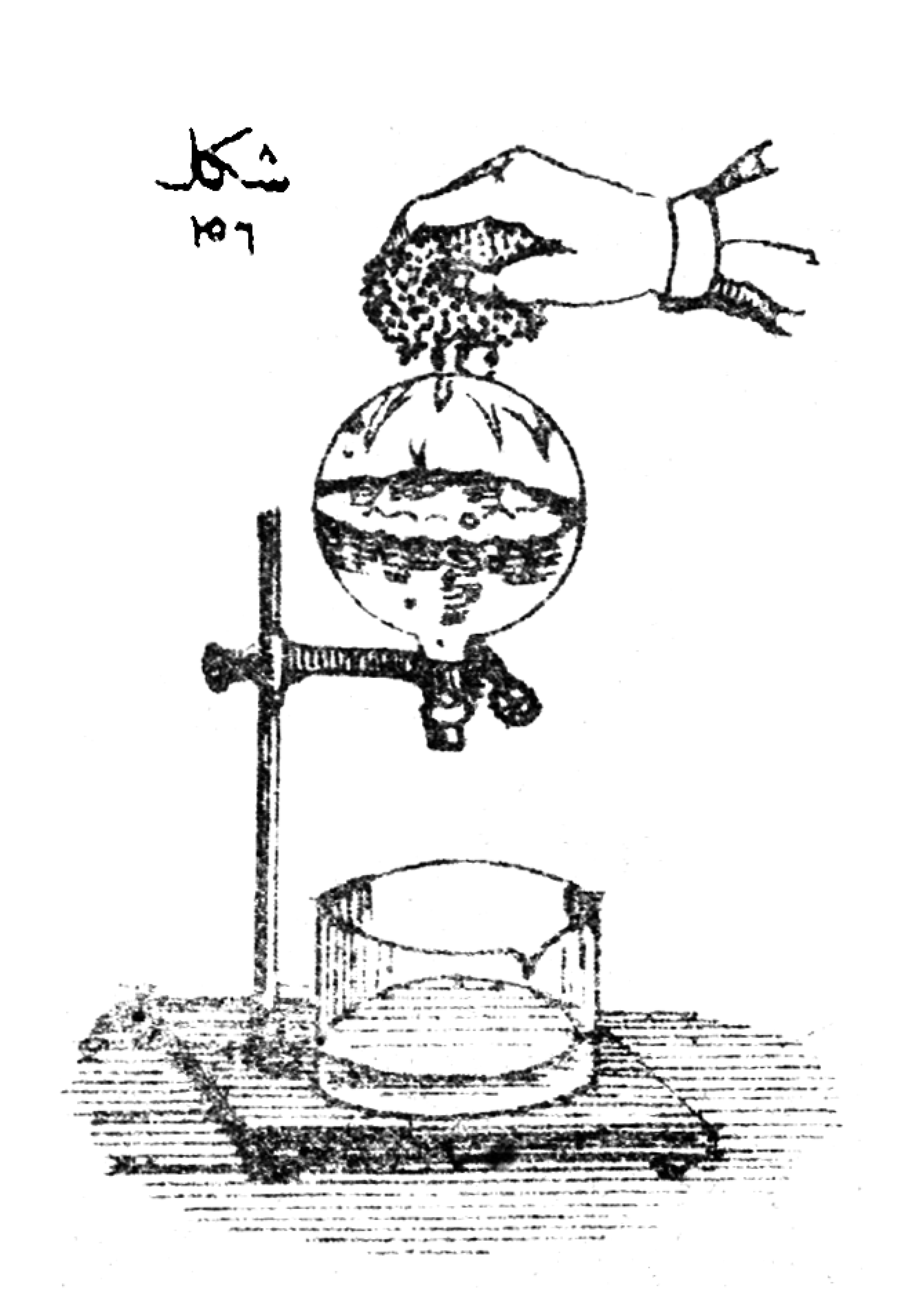
يعلم من جدولى قوة مرونة البخار السابقين أنه فى درجة ١٠٠ التى يغلى فيها الماء

المقطر

المقطر تحت ضغط ٠٫٧٦٠ مترا تكون شدة بخاره مساوية بالضغط لهذا الضغط وهذا القانون عام ويمكن أن يقال حينئذ ان كل سائل يأخذ فى الغليان فى الزمن الذى فيه شدة بخاره تعادل الضغط الواقع عليه وبناء على ذلك فبازدياد الضغط أو تناقصه تزيد أو تنقص شدة البخار وكذا الحرارة اللازمة للغليان

ولاجل اثبات انخفاض درجة الغليان متى ضعف الضغط يوضع تحت ناقوس الآلة المفرغة جفنة محتوية على ماء درجته ٣٠ + تقريبا ويفعل التفريغ فيشاهد فى الحال أن السائل يأخذ فى الغليان بسرعة وهذا ناشئ عن انجذاب البخار بالآلة المفرغة بمجرد تكونه

ويمكن فعل هذه التجربة بدون مساعدة الآلة المفرغة ولاجل ذلك تؤخذ كرة من الزجاج ويغلى فيها الماء زمنا يسيرا ومتى تحقق أن الابخرة المتصاعدة جذبت معها جميع هواء الكرة تغلق غلقا محكما وتقلب كما يظهر من شكل ١٥٦ فاذا برد حينئذ الجزء العلوى من الكرة بصب الماء البارد عليه بنحو اسفنجة تكثف البخار وحدث الفراغ وظهر غليان شديد



وبسبب نقص الضغط الجوى على الجبال الشامخة يغلى الماء عليها على درجة أنزل من درجة ١٠٠ فعلى جبل منتوبلانك مثلا يغلى على درجة ٨٤ +

واذا زاد الضغط تأخر الغلى فلا يغلى الماء مثلا الا على درجة ١٢٠٫٦ متى صار الضغط قدر ضغط الجو مرتين

(المبحث الرابع والعشرون فى قياس ارتفاع الجبال بدرجة الغليان)

الارتباط الموجود بين درجة الغليان والضغط أعطى الواسطة لقياس ارتفاع الجبال بالترمومتر بدل قياسه بالبارومتر

وفى الواقع اذا شوهد أن الماء مثلا يغلى على درجة ٩٥ على قمة جبل وعلى درجة ٩٨ فى قاعدته وبحث فى جدول قوة مرونة البخار عن الشدتين المقابلتين لكل من الدرجتين يوجد عدد من المليمترات بين قوة مرونة البخار وقت تصاعده على قمة الجبل وفى أسفله وبالتبعية بين الضغط الجوى الواقع على الماء وقت الغلى فى المحلين ويعرف حينئذ ارتفاع البارومتر على قمة الجبل وفى قاعدته ولا يكون الا استعمال المعادلات التى سبق اعطاؤها القياس ارتفاع الجبال بواسطة البارومتر

(المبحث الخامس والعشرون فى تولد البخار فى اناء مغلق)

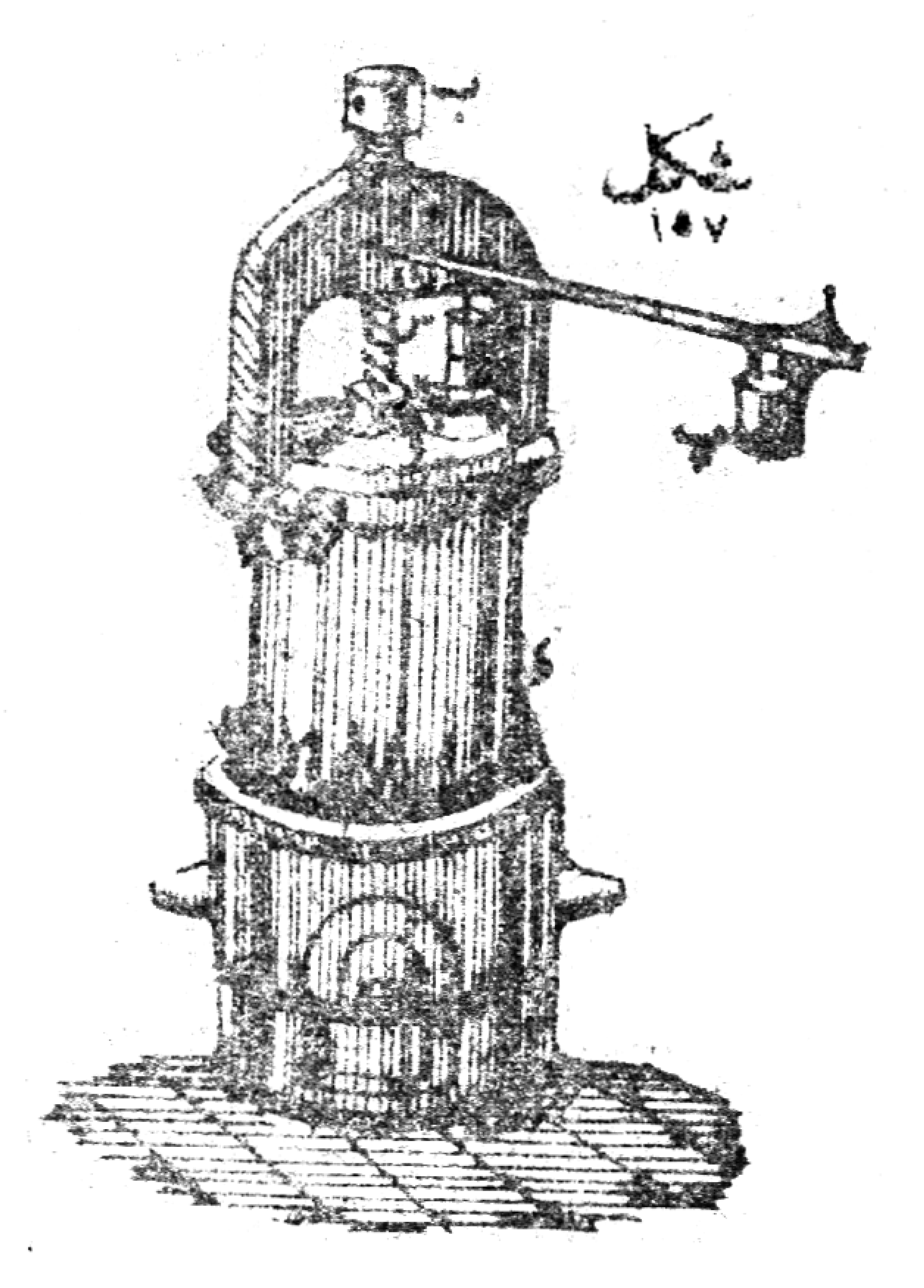
ما ذكرناه الى هنا هو تولد البخار فى مسافة غير محدودة فيها يمكنه الانتشار بدون عائق ولا يمكن حصول الغليان الا فى هذه الحالة وأما فى الاناء المغلق فحيث ان البخار المتولد لا يجد له منفذا يتصرف منه فتزداد شدته وكثافته شيئا فشيئا مع ازدياد درجة الحرارة وتصاعده السريع الذى يحدث الغليان يكون معدوما بالكلية وبناء على ذلك فدرجة حرارة السائل فى الاناء المفتوح لا تتجاوز درجة غليانه

وأما فى الاناء المغلق فانه يمكنها أن ترتفع عن درجة غليانه بكثير ومع ذلك فلحالة السيولة حد لانه بمقتضى تجارب كانيار دلا تور اذا أدخل الماء أو الكؤل أو الاتير فى أنابيب متينة من الزجاج وأغلقت على المصباح بعد طرد الهواء منها بالغلى يشاهد أنه بوضع تلك الانابيب على حرارة كافية يأتى زمن فيه يزول السائل بغتة أى يستحيل الى بخار حجمه يخالف قليلا لحجم سائله وقد وجد كانيار دلا تور حينئذ أن الاتير كبريتيك يستحيل جميعه الى بخار على درجة ٢٠٠ + فى مسافة أقل من ضعف حجمه فى الحالة السائلة وأن شدته تعادل حينئذ ٣٨ جوا

(المبحث السادس والعشرون فى حلة پاپين)

أول طبيعى درس نتائج تولد البخار فى اناء مغلق هو الطبيب پاپين الفرنساوى والجهاز المسمى باسمه هى حلة اسطوانية من النحاس ء شكل ١٥٧

ذات



ذات غطاء يثبت عليها تثبيتا قويا بواسطة برمة ضاغطة ب تحفظه مضغوطا على الحلة قهرا عن قوة مرونة البخار التى تميل لرفعه ولاجل غلق الجهاز غلقا محكما توضع أوراق من الرصاص بين حافة الغطاء وحافة الحلة قبل ضغط الغطاء بالبرمة وفى قاعدة القناة الاسطوانية التى تجتاز اسطوانة س وفتحة و يكون الغطاء مثقوبا ثقبا صغيرا مغطى بقرص يتكئ عليه ساق ن وهذا الساق المار من القناة الاسطوانية والفتحة يضغط على القرص بواسطة رافعة ا المتحركة من طرفها اَ وبالجملة فوزنة ب التى تنتقل بطول رافعة اَا تحدث على ساق ن ضغطا يكون أعظم كلما كانت هذه الوزنة أكثر بعدا من طرف اَ بمقتضى خاصية الرافعة وحيث ان الثقل الضاغط على القرص ممكن تغييره هكذا فينتظم بحيث متى وصل البخار فى داخل الحلة الى شدة معينة كضغط يعادل ضغط الجو ست مرات مثلا ارتفع القرص وأعطى منفذا للبخار وحينئذ يجتنب تكسر الجهاز ولهذا يسمى صمام الامن

فاذا ملئت حلة پاپين بالماء الى ثلثها تقريبا وأغلقت وسخنت على فرن أمكن وصول الماء حينئذ الى درجات كثيرة فوق درجة ١٠٠ ويمكن أن تصل شدة البخار الى ثقل يعادل ثقل الجو خمس مرات أو ستة على حسب الثقل الذى أعطى لصمام الآلة فاذا فتح الصمام حينئذ تصاعد البخار بصفير وارتفع لعلو عظيم وأخذ ماء الاناء الذى لم يغل الى الآن حالا فى الغليان وانخفضت حرارته الى درجة ١٠٠ وتستعمل حلة پاپين لازدياد تأثير خاصية السوائل المذوبة لانها تعطى الواسطة لنقل السوائل لدرجة حرارة أكثر من درجة حرارة غليانها

(المبحث السابع والعشرون فى الحرارة الكامنة للابخرة)

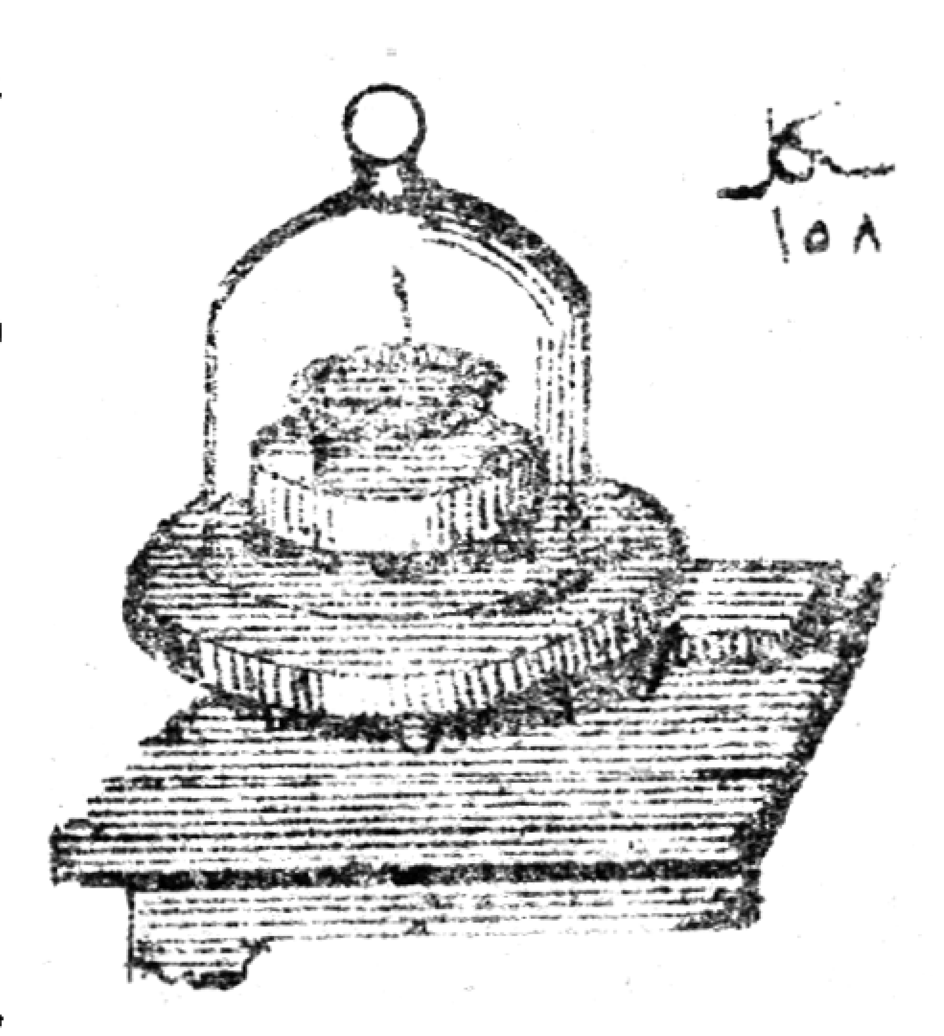
بمقتضى القانون الثالث من قوانين الغليان وهو مكث حرارة السائل ثابتة مدة جميع زمن هذه الظاهرة يلزم أن يستنتج من ذلك أنه فى حالة التصعيد كما فى حالة السيحان يوجد اختفاء كمية عظيمة من الحرارة المحسوسة تأثيرها الوحيد احالة الاجسام من حالة السيولة الى الحالة البخارية لان كمية الحرارة هذه لا تؤثر على الترمومتر حيث ان البخار المتصاعد تكون درجة حرارته دائما مثل حرارة سائله أو أخفض منه بقليل وهذه الحرارة المختفية المسماة بالحرارة الكامنة تتحول من جهة الى فعل باطنى لتعطى للجواهر الفردة أوضاعا جديدة ومن جهة أخرى الى فعل ظاهرى لتعطى للابخرة قوة مرونتها زمن الاستحالة من حالة السيولة الى الحالة الغازية

و يوجد دائما اختفاء أى امتصاص حرارة مهما كانت درجة الحرارة التى تولد البخار فاذا صب سائل طيار كالاتير مثلا على اليد فانه يحس ببرودة شديدة ناشئة عن الحرارة الممتصة مدة التصعيد

والحرارة الكامنة الممتصة حينئذ بالبخار يمكن أن تصير ينبوعا لبرودة شديدة كافية لتجمد الزئبق بل الغازات وسنشاهد فى مبحث قياس الحرارة الكامنة مدة التصعيد كيفية تعيين مقدار الحرارة الممتصة بالسوائل مدة التصعيد

(المبحث الثامن والعشرون فى البرودة المنسوبة للتصعيد)

شاهدنا أنه متى صعد سائل امتص بخاره المتصاعد كمية عظيمة من الحرارة وينتج عن ذلك أنه اذا لم يقبل السائل المتصعد كمية من الحرارة مساوية للكمية التى امتصت انخفضت درجة حرارته وكانت البرودة أكثر كلما كان التصعيد أسرع وقد وصل ليلى الى تجمد الماء بتأثير التصعيد السريع فقط وذلك أنه وضع تحت ناقوس الآلة المفرغة اناء من زجاج محتويا على حمض الكبريتيك المتركز ووضع أعلاه جفنة صغيرة ا من معدن أو وهو الاوفق من خشب الفلين شكل ١٥٨ محتوية



محتوية على بعض جرامات من الماء وعمل الفراغ فأخذ الماء في الغليان وحيث ان البخار المتصاعد يمتصه حمض الكبريتيك بمجرد تصاعده فيحدث تصاعد سريع ينشأ عنه تجمد الماء الكائن في الجفنة

وان كان العمل على سوائل أكثر تطايرا من الماء خصوصا على حمض الكبريتوز الذي يغلي في درجة ١٠ — حدثت برودة شديدة كافية لتجمد الزئبق وتفعل هذه التجربة بتغليف كرة من زجاج ممتلئة من الزئبق بالقطن ثم بعد تنديتها بحمض الكبريتوز توضع تحت ناقوس الآلة المفرغة و بفعل الفراغ فيتجمد الزئبق حالا وهناك أمثلة أخرى مذكورة في المطولات

والبرودة الناشئة عن التصعيد نافعة في البلاد الحارة لتبريد الماء بواسطة الاواني الفخار الكثيرة المسام فبرشح الماء ببطء من مسامها وتصاعده من على أسطحها خصوصا اذا وضعت في ممر الهواء تحدث البرودة

(المبحث التاسع والعشرون في سيلان الابخرة)

سيلان أو تكثف الابخرة هو استحالتها من الحالة البخارية الى حالة السيولة ويحصل ذلك بثلاثة أسباب وهي التبريد والضغط والميل الكيماوي والسببان الاولان يحتاجان لان يكون البخار في حالة التشبع وأما السبب الاخير فيحدث سيلان الابخرة ولو كانت كثيرة التشتت ولذا أن جملة من الاملاح تمتص كمية البخار القليلة الموجودة في الهواء وتكثفها

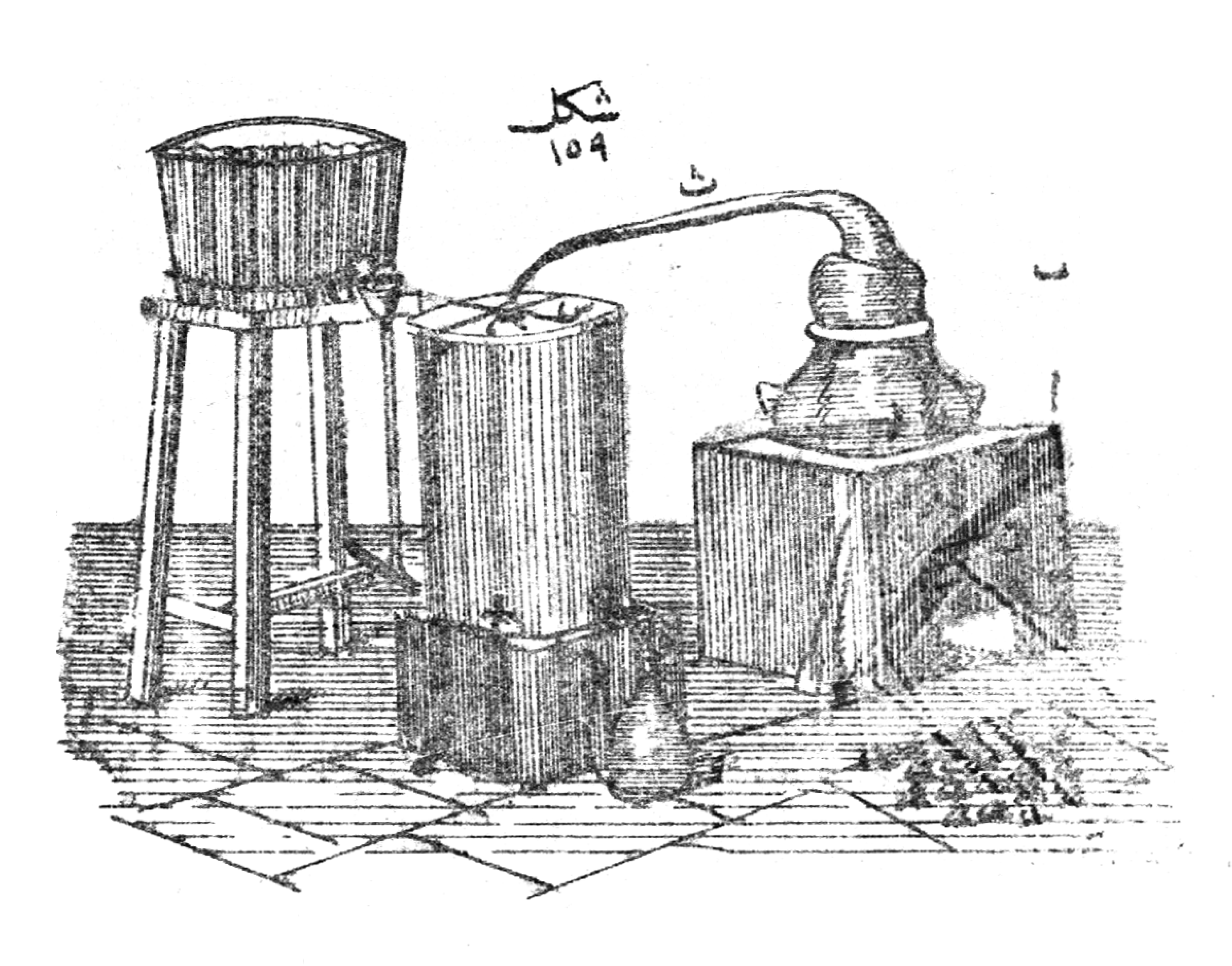
ومتى تكثفت الابخرة تحولت الحرارة الشديدة التي كانت متجهة لجواهر السائل مدة التصعيد الى الظاهر أعني تخلصت وصارت محسوسة بالترمومتر وتحقق بالتجربة وفي الواقع أن الثقل المعلوم من البخار الذي يتكثف يحدث كمية حرارة مساوية بالضبط لكمية الحرارة التي اختفت مدة التصعيد ولاثبات ذلك ينفذ تيار من البخار درجته ١٠٠ في اناء ملآن بالماء البارد فيسخن الماء بسرعة و يصل حالا لدرجة ١٠٠ ولم يفقد البخار من حرارته المحسوسة شيأ و يقال ان كمية الحرارة التي أعطاها البخار المتكثف تساوي بالضبط كمية الحرارة التي امتصها عند تكونه

(المبحث الثلاثون في التقطير بالانبيق)

التقطير عملية غايتها فصل سائل قابل للتطاير عن الاجسام الثابتة المذوبة فيها أو فصل

سائلين غير متساويين فى قابلية التطاير وهذه العملية مؤسسة على استحالة السوائل الى بخار بتأثير الحرارة وعلى تكثف البخار بالبرودة

والجهاز المستعمل للتقطير المسمى بالانبيق يتغير شكله بكيفيات متعددة لكنه يتركب دائما من ثلاث قطع متميزة الاولى القزان أو القرعة ا شكل ١٥٩



وهو اناء من النحاس الاحمر المقصدر يوضع فيه السائل المراد تقطيره ويكون راكبا بجزئه السفلى على كانون الثانية القبة أو القلنسوة ب التى ترتكز على القزان ويخرج منها البخار بواسطة عنق جانبى ث الثالثة الثعبانى أو الملتوى س وهو أنبوبة طويلة من القصدير أو النحاس ملتفة لفا حلزونيا وموضوعة فى حوض ملآن بالماء البارد والقصد من الثعبانى تكثف البخار ببرودته فيه

ولنمثل بتقطير ماء الآبار أو الانهر لتخلصه من الاملاح المذوب لها التى هى فى الغالب كبريتات الجير وكربونات الجير وكلورورات فيملأ منه القزان الى ثلثيه تقريبا ويسخن فيأخذ الماء فى الغليان ويذهب البخار المتصاعد الى الثعبانى ويتكثف فيه ويستقبل الماء المقطر فى قابلة ء وأما المواد الثابتة فانها تبقى فى القزان

وحيث

وحيث ان البخار المتكثف يسخن ماء الحوض بسرعة فيلزم تجديد هذا الماء على الدوام أى مدة التقطير والا فلا يحصل التكثف ولاجل ذلك يستعمل قمع يوصل سلسولا مستمرا من الماء البارد الى الجزء السفلى من الحوض والماء المسخن الاقل كثافة يصعد الى الجزء العلوى ويسيل من أنبوبة مثبتة فى أعلى الحوض

ولا ينبغى ادامة التقطير زيادة بل متى تقطر ثلاثة أرباع الماء المستعمل توقف العملية وذلك لاجتناب انجذاب المواد فى حالة الصلابة وتولد مواد طيارة من تحليل المواد العضوية المحتوى عليها الماء على جدران القزان المسخنة وحمض الكلورايدريك الذى يحدث من تحليل الكلورورات بواسطة السليس

والماء المقطر صاف بالكلية ولا يترك أدنى باق بعد تطايره لكنه يحتوى دائما على مقدار يسير من حمض الكربونيك لان هذا الغاز الموجود فى جميع المياه الطبيعية ينفصل منها بالتقطير ويجتنب تصاعد هذا الغاز بوضع مقدار من الجير فى القزان فيتحد معه ويمنعه من التصاعد وتتمة الكلام على التقطير والامتصاص وأنابيب الامن مذكورة فى المطولات

(المبحث الحادى والثلاثون فى سيلان الغازات)

حيث ان الغازات ليست الا أبخرة كثيرة التمدد فتكون قابلة مثلها للميوعة لكن حيث انها بعيدة جدا عن درجة ميوعتها أى كثيرة التشتت فلا يمكن عودها لها الا بضغط أو تبريد كثير الاعتبار أو قليله فبعض الغازات يكفى لها الضغط فقط أو التبريد وأغلبها يستعمل له الضغط والتبريد فى زمن واحد والقليل منها يقاوم هذين المؤثرين المجتمعين وينبغى القول بان هذه الغازات التى لم يتمكن اماعتها اذا عرضت لضغط وبرودة كافيين فقد اماع داڤى وفراداى عددا كثيرا من الغازات التى كانت تعتبر خالدة وغاية طريقتهما أن توضع فى أنبوبة من زجاج منحنية كالممص شكل ١٦٠ الاجسام التى بتأثيرها الكيماوى تولد الغاز الذى يقصد ضغطه بحيث تكون هذه الاجسام منحصرة فى احدى شعبتى الممص فبمجرد تصاعد الغاز يذهب فى الشعبة الثانية المغمورة فى مخلوط مبرد ويضغط نفسه ويميع فيها وبهذه



الكيفية أماع الطبيعيان المذكوران الكلور وحمض الكبريت ايدريك والنوشادر وحمض الكربونيك وبقية الكلام على ميوعة وتصلب حمض الكربونيك وميوعة أوّل أوكسيد الازوت مذكورة فى المطوّلات

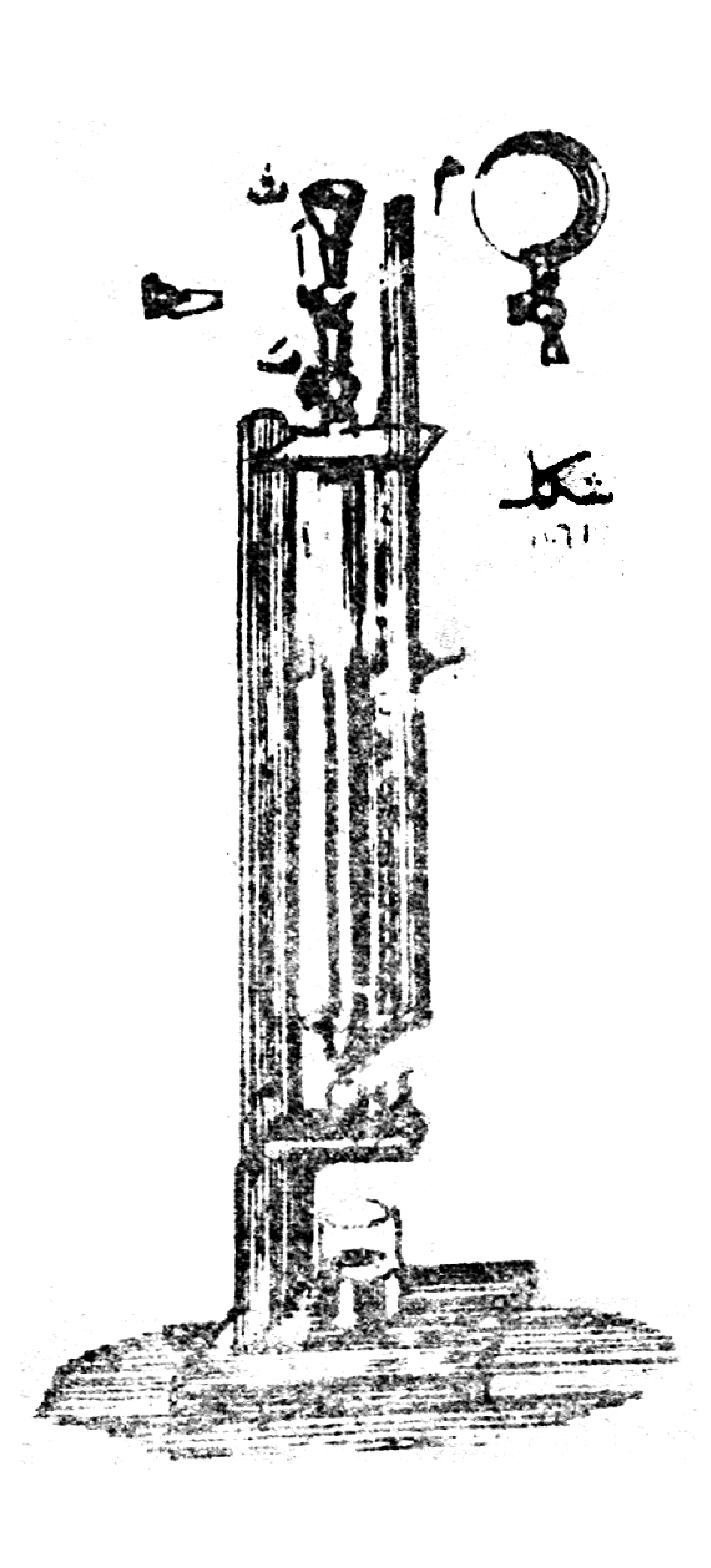
(المبحث الثانى والثلاثون فى مخلوط الغازات والابخرة وقوانينه)

كل مخلوط من غاز وبخار نظهر القانونين الآتيين

القانون الاوّل أن الشدّة وبالتبعية كمية البخار التى تشبع مسافة معلومة يكونان متساويين على الحرارة المتساوية سواء كانت هذه المسافة محتوية على غاز أو فارغة

القانون الثانى أنّ قوة مرونة المخلوط تساوى مجموع قوتى مرونة الغاز والبخار المختلطين مع ترجيع الغاز لحجمه الاصلى

وهذان القانونان المعروفان بقانونى دالتون يثبتان بواسطة جهاز غيلوساك المتركب من أنبوبة من زجاج ا شكل ١٦١



مثبت طرفاها بالمصطكى فى حنفيتين من حديد بَ و د والحنفية د فتحة تجعل اتصال أنبوبة ا مع أنبوبة ثانية ب ذات قطر صغير جدا ومن مسطرة مدرجة موضوعة بين هاتين الانبوبتين بها يقاس ارتفاع عمود الزئبق المنحصر فى كل من الانبوبتين

فتملأ أنبوبة ا بالزئبق الجاف وتغلق حنفيتا بَ و د وتركب على حنفية بَ محل قمع ث الكرة الزجاج م المغلقة بحنفيتها الملآنة بالهواء الجاف أو بأى غاز وبعد ذلك تفتح الثلاث حنفيات ويترك جزء الزئبق المستعوض بهواء الكرة الجاف يسيل من أنبوبة ا حينئذ تغلق الحنفيات

وحيث ان الهواء الذى فى مسافة ا تمدّد عند خروجه من الكرة وصار فى ضغط أقل من

ضغط

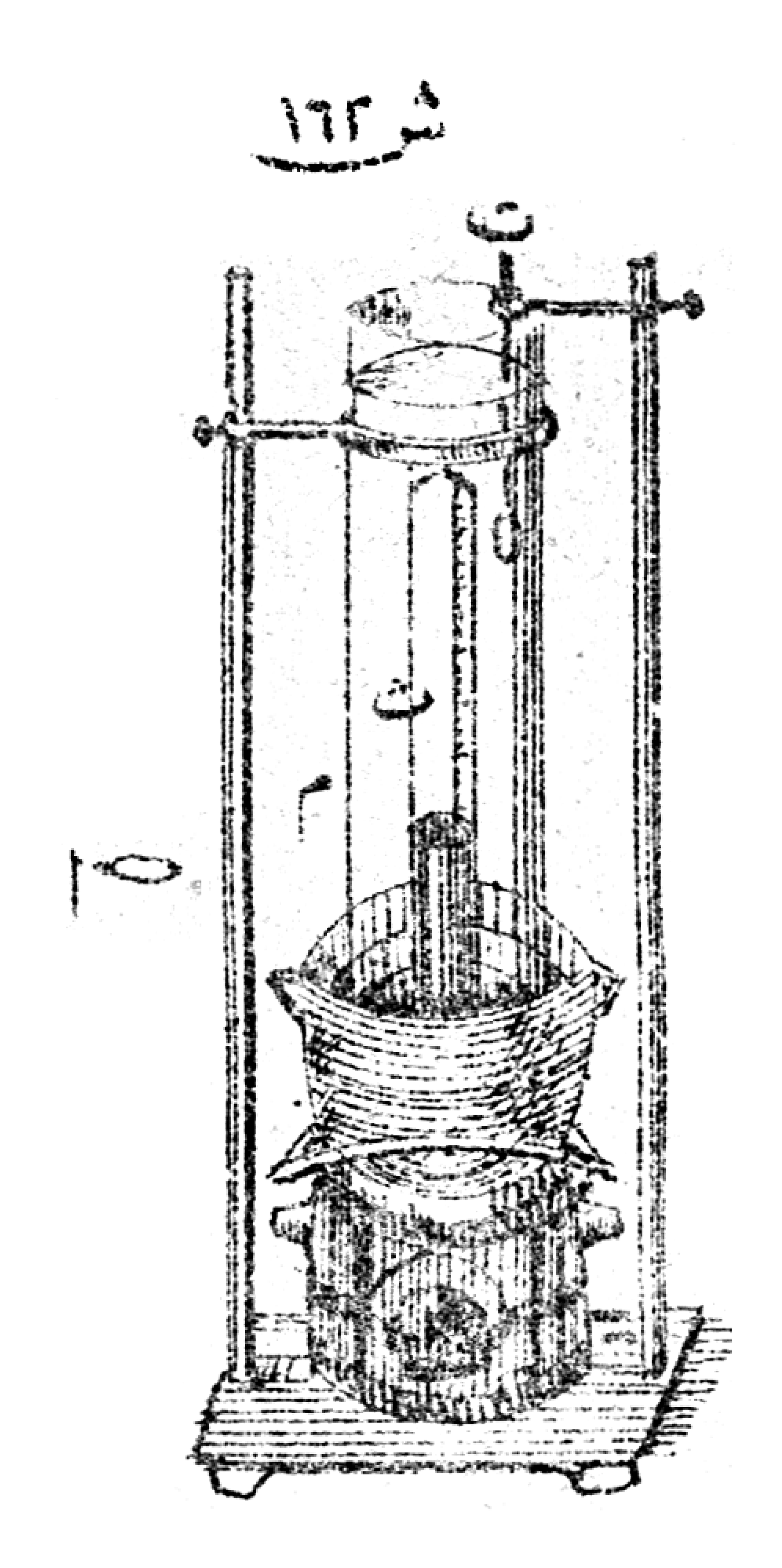
ضغط الجوّ فانه يعاد اليه ثانيا بصب الزئبق فى أنبوبة ب الى أن يصير استواء الزئبق واحدا فى الانبوبتين وأخيرا ترفع الكرة بحنفيتها ويوضع بدلها قمع ث الحامل لحنفية آ المخالفة للحنفيات المعتادة بكونها ليست مثقوبة من جهة الى أخرى كالحنفيات المعتادة بل تحمل فقط قناة صغيرة كما تشاهد فى ن على شمال الشكل المذكور فاذا صب فى قمع ث السائل الذى يقصد تصاعده يعلم على الاستواء ك للزئبق وتفتح حنفية بَ وتدار حنفية آ بحيث تمتلئ قناتها ثم تدار ثانيا ليسقط السائل فى مسافة ا ويتصاعد فيها بخارا ويداوم هكذا على سقوط السائل قطرة فقطرة الى أن يتشبع الهواء الذى فى الانبوبة بالبخار ويعرف ذلك بانقطاع انخفاض استواء ك للزئبق وحيث ان شدّة البخار الذى حدث فى مسافة ا انضمت الى شدّة الهواء الذى كان فيها فيزداد حجم الغاز فيرجع الى حجمه الاصلى بصب زئبق جديد فى أنبوبة ب ومتى ارتفع الزئبق فى الانبوبة الغليظة للاستواء ك الذى كان له ابتداء يشاهد فى أنبوبتى ب و ا فرق الاستواء ب و الذى يدل على شدّة البخار الحادث لان الهواء برجوعه الى حجمه الاصلى لا تتغير شدّته

واذا نفذ فى فراغ أنبوبة بار ومترية بعض نقط من نفس السائل الذى وضع فى مسافة ا يشاهد انخفاض مساو بالضبط الى ب و وهذا يثبت أن شدّة البخار فى حال تشبعه تكون واحدة سواء كان فى الغازات أو فى الفراغ اذا كانت الحرارة متساوية

وأمّا القانون الثانى فانه يوجد مثبتا بالتجربة المتقدّمة لانه متى أخذ الزئبق ثانيا استواءه ك تحمل المخلوط ضغط الجوّ المؤثر على قمة أنبوبة ب زائد ثقل عمود الزئبق ب و وهذان الضغطان بين أحدهما شدّة الهواء الجاف والآخر شدّة البخار والحاصل أن القانون الثانى يمكن اعتباره كنتيجة الاوّل

(المبحث الثالث والثلاثون فى كثافة الابخرة)

طريقة غيلوساك كثافة البخار هى النسبة بين ثقل حجم منه وثقل حجم مساوله من الهواء حرارتهما وشدّتهما واحدة واستعملت طريقتان لتعيين كثافة الابخرة الطريقة الاولى المنسوبة الى غيلوساك هى المستعملة للسوائل التى تغلى أنزل من درجة ١٠٠ أو أعلى منها بقليل والطريقة الثانية المنسوبة الى دوماس تسمح للعمل على الحرارة التى تصل الى ٣٦٠ درجة تقريبا وشكل ١٦٢



يوضع جهاز غيلوساك وهو يتركب من حلة من زهر ملآنة بالزئبق مغمور فيه غلاف من زجاج م ملآن بالماء أو الزيت تعرف درجة حرارته بواسطة ترمومتر ت وفى باطن الغلاف مخبار مدرج ث يملأ ابتداء بالزئبق

ولاجل عمل التجربة بهذا الجهاز يدخل السائل المراد تصعده فى كرة صغيرة من الزجاج كالمبينة بحرف ا على يمين الشكل المذكور وتغلق على المصباح وتوزن ويطرح من الوزن المتحصل وزن الكرة وهى فارغة فيتحصل وزن السائل الكائن فيها فحينئذ تدخل الكرة فى مخبار ث ويفعل التسخين بالتدريج الى أن يصل ماء الغلاف لحرارة أعلى من الحرارة التى يغلى بها سائل الكرة ببعض درج فتنفجر الكرة بتصاعد السائل المحتوية عليه بخار ا وتخفض شدة البخار الزئبق الذى فى المخبار كما يشاهد فى الشكل المذكور ومن المهم أن تكون الكرة صغيرة جدا ليستحيل جميع السائل الذى وضع فيها الى بخار بمجرد وصول حرارة الحمام لدرجة غليان السائل المذكور ومع انخفاض الزئبق يكون ناسته واؤه مرتفعا قليلا داخل المخبار عن خارجه وهذا يدل على أنه لم يبق تحت المخبار سائل بدون تصاعد والا صار استواء الزئبق حينئذ واحدا داخل المخبار وخارجه ويكون من المحقق حينئذ أن ثقل السائل الذى كان فى الكرة دال بالضبط على ثقل البخار المتكون فى مخبار ث ويعرف حجم هذا البخار بواسطة الدرجات الكائنة على المخبار وتعرف حرارته بواسطة ترمومتر ت وضغطه يساوى ارتفاع البارومتر ناقص ارتفاع الزئبق الباقى فى المخبار

ولم يبق الاحساب ثقل حجم من الهواء مساو لحجم البخار بشرط أن تكون حرارتهما وضغطهما

وضغطهما متساويين ثم قسمة ثقل البخار على ثقل الهواء فخارج القسمة هو الكثافة أو الثقل النوعي المبحوث عنه

وها هي الطريقة المتبوعة لاجراء هذا الحساب فنرمز بحرف ب لثقل البخار بالجرامات وبحرف ح لحجمه باللتر وبحرف ت لدرجة حرارته وبحرف ش لارتفاع البارومتر وبحرف هـ لارتفاع الزئبق فى المخبار ومن ذلك ينتج أن ضغط البخار يكون ش ـ هـ

فاذا أريد تحصيل ثقل بَ لحجم الهواء ح فى حرارة ت وتحت ضغط ش ـ هَ نقول حيث ان اللتر من الهواء فى درجة الصفر وتحت ضغط ٠٫٧٦ مترا يزن ١٫٢٩٣ جراما فيكون ثقل حجم ح فى نفس الضغط وفى الصفر ١٫٢٩٣ × ح ولاجل حساب ثقل حجم مساوله من الهواء فى درجة ت نرمز بحرف ك لمكر تمدد الهواء فتصير زيادة الحجم من الصفر الى درجة ت بنسبة ١ الى ١ + ك ت ويصير بالعكس نقص الحجم المساوى له ١ + ك ت الى ١ وحينئذ يكون ثقل حجم الهواء فى درجة ت وضغط

$$٠٫٧٦ \text{ مترا } \quad \frac{١٫٢٩٣ \times ح}{١ + ك\,ت}$$

وأخيرا حيث ان ثقل الحجم المماثل له من الهواء متناسب مع الضغط فننتقل من ضغط

$$٠٫٧٦ \text{ الى ضغط } ش - هَ \text{ بضرب كمية } \frac{١٫٢٩٣ \times ح}{١ + ك\,ت} \text{ فى } \frac{ش - هَ}{٠٫٧٦}$$

$$\text{وهذا يعطى } \frac{١٫٢٩٣ \times ح (ش - هَ)}{١ + ك\,ت \times ٠٫٧٦ \text{ مترا}} \text{ لثقل بَ لحجم الهواء ح فى ضغط}$$

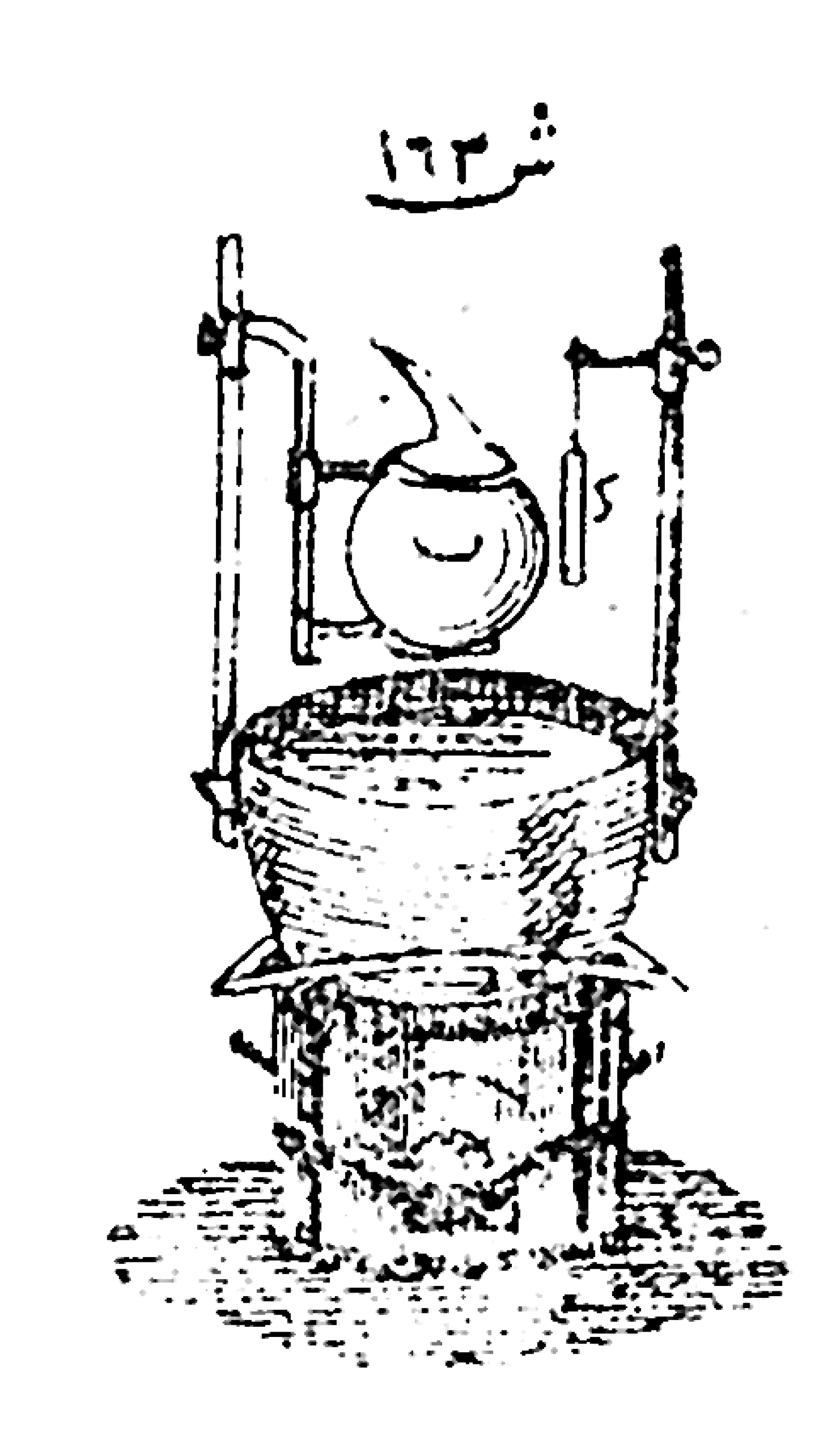
ش ـ هَ وفى درجة ت وبناء على ذلك يتحصل للكثافة المبحوث عنها

$$ى = \frac{ب}{بَ} = \frac{ب (١ + ك\,ت)\ ٠٫٧٦ \text{ مترا}}{١٫٢٩٣\ ح\ (ش - هَ)}$$

طريقة دوماس الطريقة التى ذكرناها ليست مستعملة للسوائل التى درجة غليانها تزيد على ١٥٠ أو ١٦٠ درجة لانه يلزم لوصول الزيت الكائن فى الغلاف لهذه الدرجة تسخين الزئبق الكائن فى الحلة لدرجة كثيرة الارتفاع عليها تتصاعد أبخرة

زئبقية خطرة الاستنشاق وزيادة على ذلك فانه بانضمام شدة بخار الزئبق فى المخبار المدرج مع شدة البخار الواقع عليه التجربة يحصل غلط فى التجربة

والطريقة الآتية المنسوبة الى دوماس تسمح للعمل على حرارة تبلغ الى ٤٠٠ درجة تقريبا ويتركب الجهاز من كرة من زجاج ب ذات عنق مسحوب كما فى شكل ١٦٣ تسع نصف ليتر تقريبا وبعد تجفيف هذه الكرة جيدا ظاهرا وباطنا توزن حينما تكون ملآنة بالهواء وهذا الوزن يعطى ثقل الزجاج وبعد ذلك يدخل فيها من الطرف المسحوب السائل الذى يراد تصعده ثم تغمر فى حمام ماء متشبع من ملح الطعام أو فى حمام من زيت أرجل البقر أو من مخلوط دارسيه (المتكون من جزئين من البزموت وجزء من الرصاص وجزء من القصدير ويسيح على درجة ٩١ +) وذلك على حسب حرارة غليان السائل الذى فى الكرة ثم لاجل تثبيت الكرة فى الحمام يثبت على احدى أذنى الحلة المحتوية على الحمام قضيب من الحديد ينزلق بطوله حامل من حديد يحمل حلقتين



ش ١٦٣

توضع بينهما الكرة كما يظهره الشكل المذكور ويثبت على الاذن الاخرى قضيب مثل الاول يحمل ترمومترا ثقليا ء

ومتى غمرت الكرة والترمومتر فى الحمام فانه يسخن حتى تصل حرارته أعلى من درجة غليان السائل الذى فى الكرة بقليل فيتصاعد البخار من الطرف المسحوب ويطرد الهواء الذى فى الجهاز ومتى تصعد جميع السائل وانقطع تصاعد البخار على هيئة النافورة يسد طرف الكرة المسحوب على المصباح بواسطة البورى مع الاعتناء بكتابة درجة الحمام وارتفاع البارومتر فى الحال وأخيرا متى بردت الكرة وجففت جيدا بمسحها بخرقة فانها توزن ثانيا فالثقل بَ المتحصل يدل على ثقل البخار المحتوية عليه الكرة زائد ثقل الزجاج ناقص ثقل الهواء المطرود

ولاجل

ولاجل الحصول على ثقل البخار يلزم أن يطرح من ب ثقل الزجاج ويضاف للباقى ثقل الهواء الذى حل محله البخار ويسهل ذلك بعد تعيين حجم الكرة ولاجل ذلك يغمر الطرف المسحوب فى الزئبق وتكسر نهايته بجفت صغير وحيث ان البخار تكثف وحدث فراغ فى الكرة فانه ينقذف الزئبق فى الكرة بتأثير الضغط الجوّى ويملؤها بالكلية اذا تطرد منها جميع الهواء ثم يصب الزئبق الذى دخل فى الكرة فى مخبار مدرج يعلم حجم الكرة فى الدرجة الاعتيادية ويستنتج بالحساب بسهولة حجم الكرة فى درجة الحمام من المسألة السادسة من مسائل التمدد وبالتبعية حجم البخار فى نفس الدرجة ومتى توصلنا بهذه الطريقة كما توصلنا بطريقة غيلوساك الى معرفة ثقل حجم من البخار فى درجة حرارة وضغط معلومين فانه يفعل باقى الحساب كما تقدم فى طريقة غيلوساك

واذا بقى هواء فى الكرة فلا تمتلئ بالزئبق امتلاء تاما لكن حجم الزئبق الذى دخل فيها يدل أيضا على حجم البخار

(كثافة بعض الابخرة بالنسبة للهواء)

هواء	١٠٠٠٠
بخار ماء	٠،٦٢٣٥
بخار كؤل	١،٦١٣٨
بخار الاتير كبريتيك	٢،٥٨٦٠
بخار كبريتور الكربون	٢،٦٤٤٧
بخار عطر الترمنتينا	٥،٠١٣٠٠
بخار الزئبق	٦،٩٧٦
بخار اليود	٨،٧١٦

(المبحث الرابع والثلاثون فى النسبة بين حجم السائل وبخاره)

متى علمت كثافة البخار يستنتج منها بسهولة الحجم الذى يشغله ثقل معلوم من هذا البخار فى حالة التشبع وفى حرارة معلومة ولنفرض أن المقصود مثلا ايجاد حجم جرام من بخار الماء فى درجة ١٠٠ وفى ضغط ٠،٧٦ مترا فنقول حيث ان كثافة بخار الماء فى درجة ١٠٠ بالنسبة لكثافة الهواء هى ٠،٦٢٣٥ فيتحصل ثقل الليتر من بخار الماء فى درجة

١٠٠ وفى ضغط ٠,٧٦ مترا بالبحث عن ثقل ليتر من الهواء فى نفس الحرارة والضغط وضربه فى ٠,٦٢٣٥ مترا وشوهد فى المسألة السادسة من مسائل تمدد الغازات أنه بالرمز بحرف بَ لثقل الليتر من الهواء فى درجة ت وبحرف ب لثقل حجم مثله فى درجة الصفر وبحرف ك لمكرر تمدد الهواء يحصل $بَ = \frac{ب}{١ + ك ت}$

وبناء على ذلك فيكون ثقل الليتر من الهواء الجاف فى درجة ١٠٠

$$\frac{١,٢٩٣ \text{ جراما}}{١ + ٠,٠٠٣٦٧ \times ١٠٠} = \frac{١,٢٩٣ \text{ جراما}}{١,٣٦٧} = ٠,٩٤٦ \text{ جراما}$$

ويتبع ذلك أن الليتر من البخار المتشبع فى درجة ١٠٠ وفى ضغط ٠,٧٦ يزن ٠,٩٤٦ جراما × ٠,٦٢٣٥ = ٠,٥٨٩٨ جراما ولاجل الحصول على الحجم ف المشغول بجرام من البخار فى نفس الحرارة والضغط لا يكون الا قسمة الجرام على ٠,٥٨٩٨ جراما فينتج من ذلك ف = ١,٦٩٥ جراما = ١٦٩٥ سنتيمترا مكعبا

وباستحالة الماء الى بخار على درجة ١٠٠ وفى ضغط ٠,٧٦ يأخذ حينئذ حجما أكثر من حجمه وهو سائل ١٧٠٠ مرة تقريبا

(الفصل السادس فى الايجرومترى وفيه مباحث)

الايجرومترى غايته تعيين كمية بخار الماء الموجودة فى حجم معين من الهواء وهذه الكمية كثيرة التغاير لان الهواء ليس متشبعا ببخار الماء خصوصا فى الاقطار الباردة ولا جافا بالكلية والدليل على عدم جفاف الهواء أنه اذا عرضت له الاجسام التى لها شراهية للماء مثل كلورور الكالسيوم وحمض الكبريتيك وغيرهما فى كل زمن امتصت بخار الماء

(المبحث الاول فى الحالة الايجرومترية)

حيث ان الهواء على العموم ليس متشبعا فنسبة كمية بخار الماء الحالية المحتوى عليها الى الكمية التى يحتوى عليها اذا تشبع مع كون درجة الحرارة واحدة فى الحالتين تسمى بالحالة الايجرومترية

ودرجة رطوبة الهواء لا تتعلق بكمية بخار الماء المطلقة الموجودة فى الجو بل بعظم أو صغر المسافة

المسافة التي يوجد فيها الهواء في حالة التشبع فمتى كان الهواء باردا أمكنه أن يكون كثير الرطوبة بالقليل من البخار ومتى كان حارا كان كثير الجفاف ولو احتوى على كثير من البخار فالهواء على العموم مثلا يحتوي في الصيف على ماء أكثر مما يحتوى عليه في الشتاء ومع ذلك يكون أقل رطوبة لانه بازدياد ارتفاع الحرارة يكون الهواء أكثر بعدا من درجة تشبعه وكذلك اذا سخن محل فلا تنقص كمية البخار الموجودة في هوائه بل تنقص درجة رطوبته لان درجة تشبعه بعدت ويمكن أن يصير الهواء حينئذ في درجة جفاف مضرة بالبنية الحيوانية ولذلك يستحسن وضع أوان فيها الماء على الوجاقات

وباستعمال قانون مربوط للابخرة الغير متشبعة كاستعماله للغازات كما تقدم في مبحث البخار الغير متشبع ينتج أنه في تساوي الحرارة والحجم يزداد ثقل البخار في المسافة الغير متشبعة كالضغط وبناء على ذلك فيزداد كشدة نفس هذا البخار ويمكن حينئذ تعويض مقدار البخار بمقدار القوة المرنة المناسبة له ويقال ان الحالة الايجرومترية للهواء هي النسبة بين قوة مرونة بخار الماء المحتوي عليه وقوة مرونة البخار الذي يحتوى عليه اذا تشبع في نفس الحرارة أعني اذا رمزنا بحرف ف لشدة البخار المحتوي عليه الهواء وبحرف فَ لشدة البخار المشبع في نفس الحرارة وبحرف و للحالة لايجرومترية يتحصل

$$و = \frac{ف}{فَ} \quad \text{وينتج} \quad ف = فَ \times و$$

(المبحث الثاني في أنواع الايجرومترات المختلفة)

الايجرومترات آلات تستعمل لتعيين الحالة الايجرومترية للهواء واخترع منها عدد كثير وجميعها يرجع الى أربعة أنواع أصلية ايجرومترات كيماوية وايجرومترات الامتصاص وايجرومترات التكثف ومقياس الطراوة

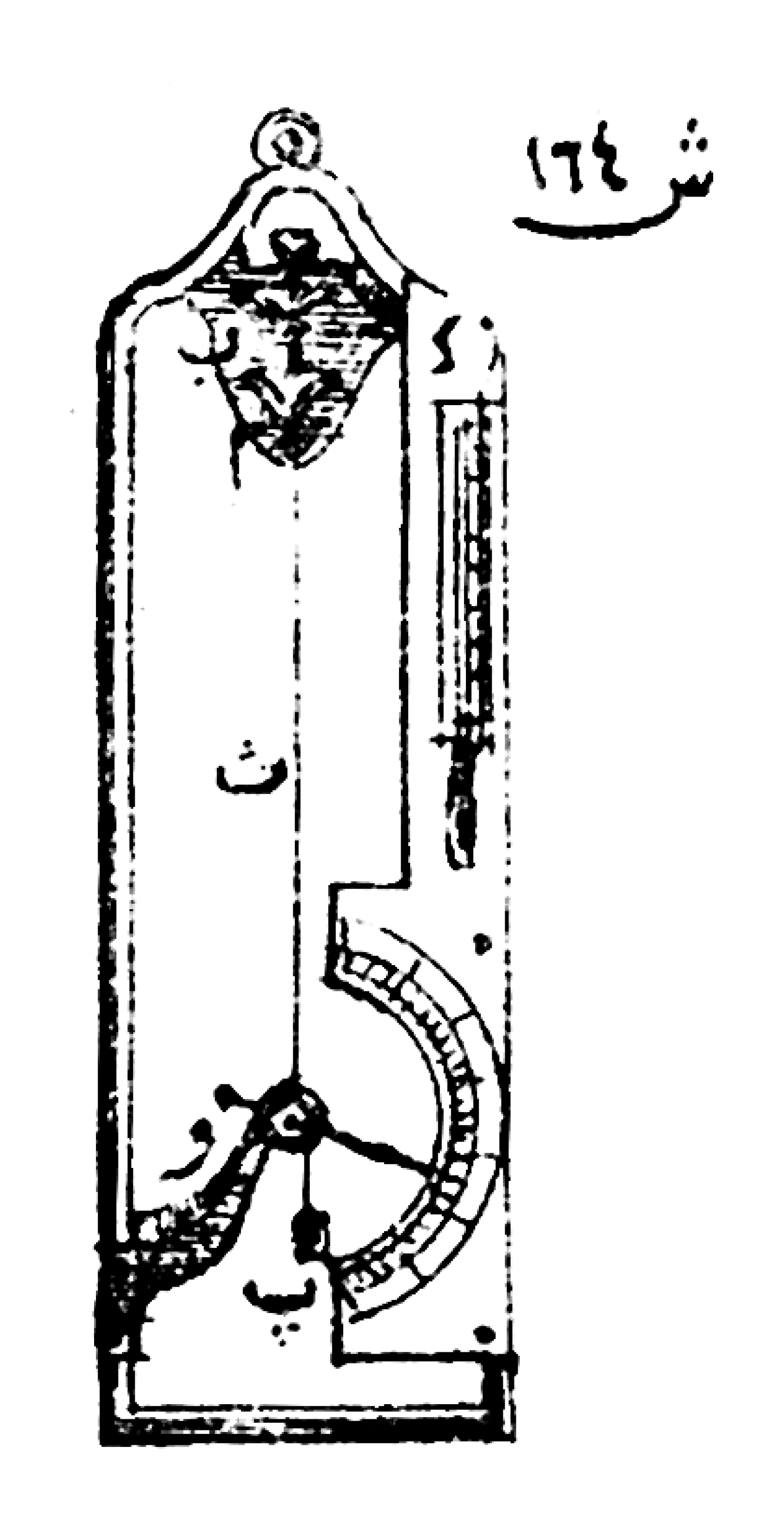
(المبحث الثالث في الايجرومتر الكيماوي)

العمل بالايجرومتر الكيماوي غايته تنفيذ حجم معلوم من الهواء على جسم له شراهية للماء ككلورور الكالسيوم مثلا وبوزن الجسم قبل مرور الهواء عليه وبعده توجد

زيادة فى الوزن هى وزن البخار المحتوى عليه الهواء وكيفية تنفيذ الهواء على حسب الارادة وتنظيم التجربة مذكورة فى المطولات

(المبحث الرابع فى ايجر ومترالامتصاص)

ايجر ومترالامتصاص مؤسس على خاصية استطالة الاجسام العضوية بالرطوبة وقصرها بالجفاف واخترعت جملة ايجرومترات للامتصاص أكثرها استعمالا هو الايجرومترذوالشعرة أوايجرومترسوسور ويتركب من براور من نحاس شكل ١٦٤



معلق فيه شعرة ث التى ازيلت منها المادة الدسمة ابتداء بواسطة ماء محتوعلى واحد من مائة من وزنه من كربونات الصود ويمكن ازالة المادة الدسمة من الشعرة أيضا بغمرها فى الاتيركبريتيك مدة ٢٤ ساعة كما فعله رينيول فاذا لم تزل المادة الدسمة من الشعرة لم تمتص الا قليلا من البخار وتصير استطالتها ضعيفة جدا بخلاف ما اذا تخلصت من جميع المادة الدسمة فانها تستطيل بسرعة بانتقالها من الجفاف الى الرطوبة

والشعرة ث ممسوكة من طرفها العلوى بماسك ا الذى ينضم بالبرمة الضاغطة ى ولاجل توترالشعرة يرفع ويخفض هذا الماسك ببرمة ب المثبتة أعلى ا واذا كانت الشعرة معقودة نتج عنها التواء يجعل الاستطالة غيرمنتظمة وتلتف الشعرة من جزئها السفلى على أحد ميزابى بكرة و المثبتة فيه ويلف على الميزاب الثانى فى اتجاه مضاد لاتجاه الشعرة خيط من الحرير حامل لوزنة صغيرة ب ومحورالبكرة يحمل ابرة تتحرك على قوس مدرج

فتى

فمتى قصرت الشعرة رفعت الابرة بالجذب الذى تحدثه ومتى استطالت الشعرة فالوزنة ب هى التى تخفض الابرة

ولاجل تدريج القوس يعلم الصفر فى النقطة التى تقف عليها الابرة على الدرجة الاعتيادية فى الهواء الجاف بالكلية وتعلم ١٠٠ فى النقطة التى تقف عليها الابرة فى الهواء المتشبع ببخار الماء ثم تقسم المسافة بين هاتين النقطتين ١٠٠ جزء متساوية وهى درجات الايجرومتر

والصفر أو نقطة غاية الجفاف يتعين بوضع الايجرومتر تحت ناقوس من زجاج يجفف هواؤه بأجسام كثيرة الشراهية للماء مثل كلورور الكالسيوم أو كربونات البوتاسا المكلس فمتى فقد الهواء رطوبته قصرت الشعرة وأدارت البكرة وابرتها لكن ببطء زائد وفى نهاية ١٥ أو ٢٠ يوما فقط تصير الابرة ثابتة وهذا يدل على أن هواء الناقوس جف بالكلية فحينئذ يعلم الصفر على القوس فى النقطة المقابلة للابرة ويتحصل محل نقطة نهاية الرطوبة باخراج المواد المجففة من الناقوس وبل جدرانه بالماء المقطر فيتصاعد هذا الماء بخارا يشبع هواء الناقوس فى الحال وتستطيل الشعرة بسرعة وتدير حينئذ الوزنة الصغيرة الملفوف خيطها على البكرة فى اتجاه مضاد للشعرة الابرة فى ضد الصفر وفى أقل من ساعتين تصير ثابتة فحينئذ تعلم ١٠٠ فى النقطة التى تقف عليها

وتبعا لسوسور أن الشعرة الموترة بوزنة تساوى ٣ ديسيجرام تستطيل من الصفر الى درجة ١٠٠ $\frac{1}{46}$ من طولها وهو ٥٠ سنتيمترا تقريبا والشعر الاشقر هو الذى تكون استطالته أكثر انتظاما

ويلغى التمدد الذى تكابده الشعرة من تغيرات الحرارة لانه عرف أن استطالة الشعرة لا تغير الابرة الا $\frac{3}{4}$ من درجة ايجرومترية بتغير حرارة الهواء ٣٣ درجة وبقطع النظر عن هذا التمدد الضعيف يشاهد أنه مهما كانت الحرارة فان ابرة الايجرومتر ترجع دائما الى الصفر بالضبط فى الهواء الجاف بالكلية والى درجة ١٠٠ فى الهواء المشبع وثبات هذه النقطة الاخيرة أظهر أن الشعرة فى الهواء المتشبع تمتص دائما كمية واحدة من الماء مهما كانت درجة الحرارة وكثافة البخار

والايجرومترات ذوات الشعر تظهر ضررا كبيرا والمصنوعة بشعر مختلف يمكن أن تتغير

دلالاتها جملة درج ولو توافقت فى النقطتين وزيادة على ذلك فان نفس الايجرومتر الواحد لا يمكث مماثلا لنفسه لان الشعرة تستطيل بالشد المستمر للوزنة الحاملة لها ولهذا يفضل أن يكون مجموع الدرج بتمامه على وجه ساعة ذا صفر اختيارى وتعين عليه زمنا بعد زمن محل نقطة نهاية الجفاف ومحل نقطة نهاية الرطوبة ومع استيفاء هذه الشروط فلا يبين ايجرومترذى الشعرة أيضا الحالة الايجرومترية للهواء ويلزم أيضا الرجوع الى الجدول الآتى

جدول التصحيح لغيلوساك ظهر من التجربة أن دلالات الايجرومترذى الشعرة ليست متناسبة مع الحالة الايجرومترية للهواء لان الابرة تبين مثلا ٥٠ درجة التى هى عدد مقابل لوسط التدريج مع أن الهواء بعيد عن كونه نصف متشبع فلزم حينئذ ايجاد الحالة الايجرومترية المقابلة لكل درجة من الآلة بالتجربة وقد حل غيلوساك هذه المسألة مستندا على قاعدة أن الابخرة الصادرة عن المحاليل الملحية أو الحمضية تكون نهاية شدتها أكثر ضعفا فى الدرجة الواحدة كلما كانت كمية الملح أو الحمض المذابة كثيرة وهو أنه وضع الايجرومترذا الشعرة تحت ناقوس فيه مخلوط الماء وحمض الكبريتيك ولما تشبع هواء الناقوس عين درجة الايجرومتر ثم لاجل أن يتحصل على شدة البخار تحت الناقوس نفذ فى فراغ البارومتر بعض نقط من نفس المحلول الحمضى الذى كان تحت الناقوس فعرف حينئذ من انخفاض الزئبق فى البارومتر شدة البخار تحت الناقوس حيث ان قوة مرونة البخار فى حالة التشبع وفى الحرارة المتساوية تكون واحدة فى الفراغ وفى الهواء كما تقدم فى مبحث مخلوط الغازات والابخرة ثم بالبحث أخيرا فى جدول قوة مرونة البخار عن شدة البخار المتشبع فى درجة حرارة الهواء تحت الناقوس تحصل على حدى النسبة التى تبين الحالة الايجرومترية للهواء المقابلة للدرجة المبينة بالايجرومتر وبتكرير هذه التجربة بمحاليل حمضية كثيرة التركز أو قليلته فى درجة ١٠ + وجد غيلوساك عشرة حدود من الجدول الآتى وباقيه عينه بيوت بواسطة المعادلات

ويظهر من الجدول الآتى أنه فى درجة ٧٢ يكون الهواء نصف متشبع وحيث ان ابرة الايجرومتر تقابل فى الغالب هذه الدرجة على سطح الارض يستنتج من ذلك أن الهواء يحتوى على نصف البخار (حدا متوسطا) الذى يحتوى عليه اذا كان متشبعا وفى اقاليم فرانسا لا ينزل الايجرومتر أبدا الى درجة ١٠٠ ولو بعد المطر الكثير ويندر

صعوده

صعوده مدة الجفاف الشديد أعلى من درجة ٣٠ ومتى رفع الايجرومتر فى الجو مشى على العموم جهة صفره

الحالة الايجرومترية المقابلة لدرجات ايجرومترذى الشعرة فى درجة ١٠

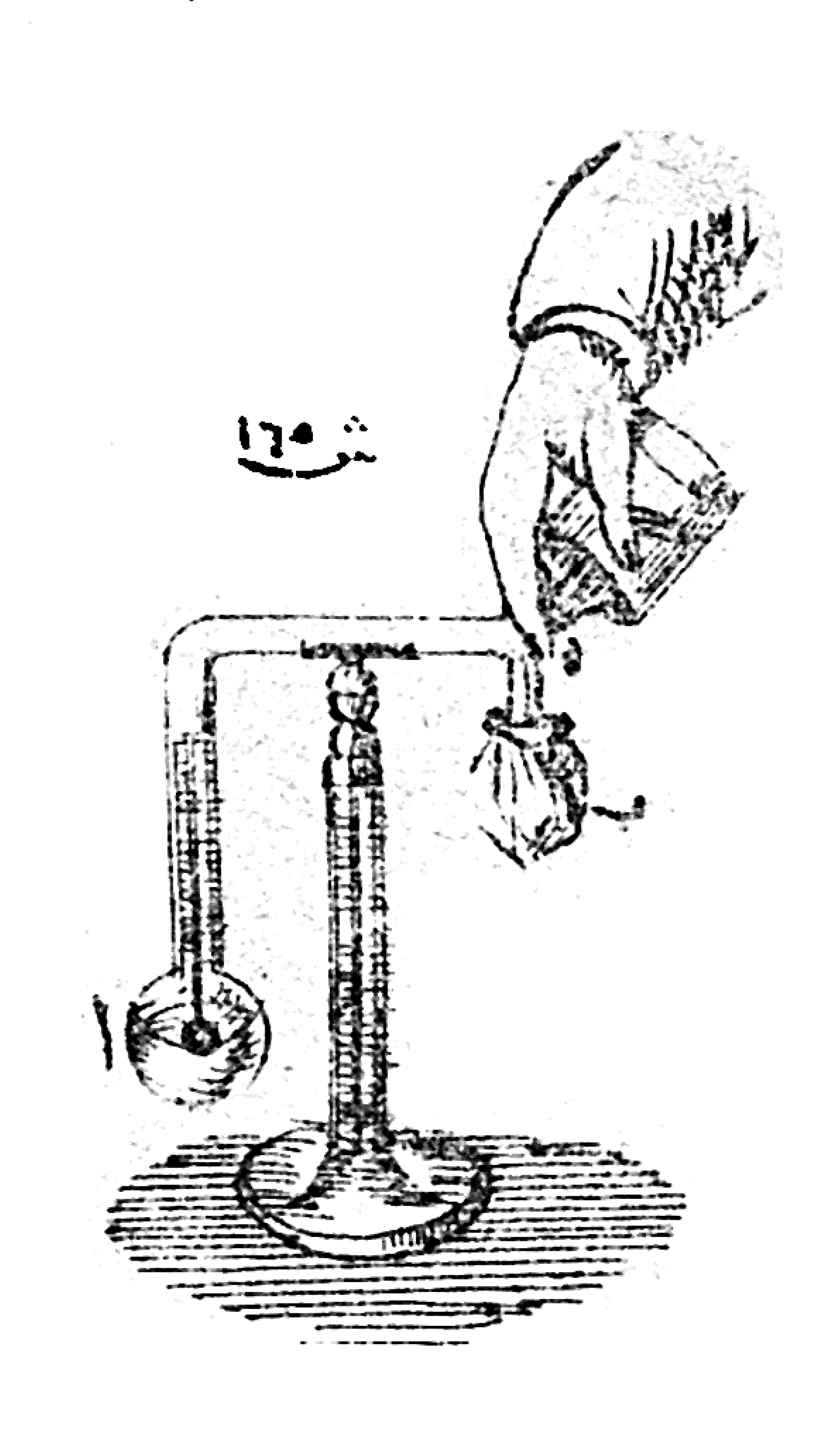
درجات الايجرومتر	الحالة الايجرومترية	درجات الايجرومتر	الحالة الايجرومترية
٠	٠٠٠و٠	٥٥	٣١٨و٠
٥	٠٢٢و٠	٦٠	٣٦٣و٠
١٠	٠٤٦و٠	٦٥	٤١٤و٠
١٥	٠٧٠و٠	٧٠	٤٧٢و٠
٢٠	٠٩٤و٠	٧٢	٥٠٠و٠
٢٥	١٢٠و٠	٧٥	٥٣٨و٠
٣٠	١٤٨و٠	٨٠	٦١٤و٠
٣٥	١٧٧و٠	٨٥	٦٩٦و٠
٤٠	٢٠٨و٠	٩٠	٧٩١و٠
٤٥	٢٤١و٠	٩٥	٨٩١و٠
٥٠	٢٧٨و٠	١٠٠	٠٠٠و١

وكان جدول التدريج الغيلوساك مستعملا فى جميع الايجرومترات ذوات الشعر لكن عرف رينيول أن دلالات هذه الآلات تتغير بتغير أصل الشعر ولونه ودقته وكيفية ازالة المادة الدهنية منه بحيث يلزم لأجل الحصول على دلالات مضبوطة جدول مخصوص لكل ايجرومتر وهذا يؤدى الى صعوبة استعمال هذه الآلات

(المبحث الخامس فى ايجرومتر التكاثف المنسوب الى دانيال)

ايجرومترات التكاثف آلات تعرف بها الدرجة التى فيها يصير البخار المحتوى عليه الهواء كافيا لتشبعه ببرودته وهما ايجرومتر دانيال وايجرومتر رينيول

فايجرومتر دانيال يتركب من كرتين من الزجاج منضمتين بانبوبة منحنية انحنائين كما فى شكل ١٦٥



وكرة ا ملآن ثلثيها بالاتير ومغمور فيه ترمومتر صغير منحصر فى الانبوبة والكرتان والانبوبة خاليان بالكلية عن الهواء ويتحصل ذلك بغلى الاتير الذى فى كرة ا حينما تكون كرة ب مفتوحة ثم تغلق كرة ب على المصباح متى تحقق أن أبخرة الاتير جذبت جميع الهواء بشرط أن لا تحتوى الانبوبة وكرة ب الاعلى بخار الاتير فاذا غلفت كرة ب بالقماش الرفيع المسمى بالموصلى وصب عليها من الاتير نقطة فنقطة بردت الكرة عند تطاير هذا السائل وتكاثف البخار المحتوية عليه وحيث ان الشدة الداخلية نقصت حينئذ فيعطى اتير كرة ا حالا أبخرة جديدة تأتى وتتكاثف أيضا فى الكرة الاخرى وهكذا وبتقطير السائل هكذا من الكرة السفلى الى الكرة العليا يبرد الاتير الذى فى الكرة السفلى ويبرد معها الهواء الملامس لها ويأتى زمن يصل فيه لدرجة يكون فيها بخار الماء المحتوى عليه كافيا للتشبع وهذا البخار يتكاثف حينئذ ويشاهد رسوب طبقة من الندى حلقية الشكل على كرة ا محيطة بسطح السائل ويبين الترمومتر السفلى فى هذا الوقت درجة حرارة تشبع الهواء المحيط بالسائل

ولاجل الحصول على هذه الدرجة بالتقريب تلاحظ الحرارة فى الزمن الذى يزول فيه البخار الراسب بالتعيين ثانيا ويؤخذ الحد المتوسط بين هذه الحرارة وحرارة الرسوب والاوفق أن يكون الايجرومتر مدة هذه التجربة موضوعا فى تيار من الهواء على شباك مفتوح مثلا ليلاون تصاعد الاتير من على القماش أكثر سرعة وتعلم حرارة الهواء بواسطة ترمومتر موضوع على نفس حامل الجهاز

ومتى

ومتى عرفت بواسطة ايجروممتردانيال درجة الحرارة التى يصير فيها الهواء متشبعا تستنتج منها الحالة الايجرومترية ولاجل ذلك يلاحظ أنه متى انخفضت الحرارة فى مسافة خالصة محتوية على هواء وبخار فى الضغط الجوّى تبقى قوّة مرونة البخار ثابتة لحد درجة التشبع وفى الواقع أن قوّة مرونة المخلوط تساوى لمجموع قوّتى مرونة كل من الغاز والبخار كما تقدّم فى مخلوط الغازات والابخرة وحيث ان مدّة برودة الهواء تبقى شدّته ثابتة وتزداد كثيرا بنقص الحجم الذى يتناقص بانخفاض الحرارة وكذلك شدّة البخار أيضا فانها يلزم أن تبقى ثابتة لان قوّة مرونة المخلوط تبقى ضرورة مساوية لضغط الجوّ بعد البرودة كقبلها وبناء على ذلك فمتى برد الهواء تبقى شدّة البخار المحتوى عليه ثابتة لحد درجة التشبع وفى هذه الدرجة تكون هذه الشدّة عين ما كانت قبل التبريد

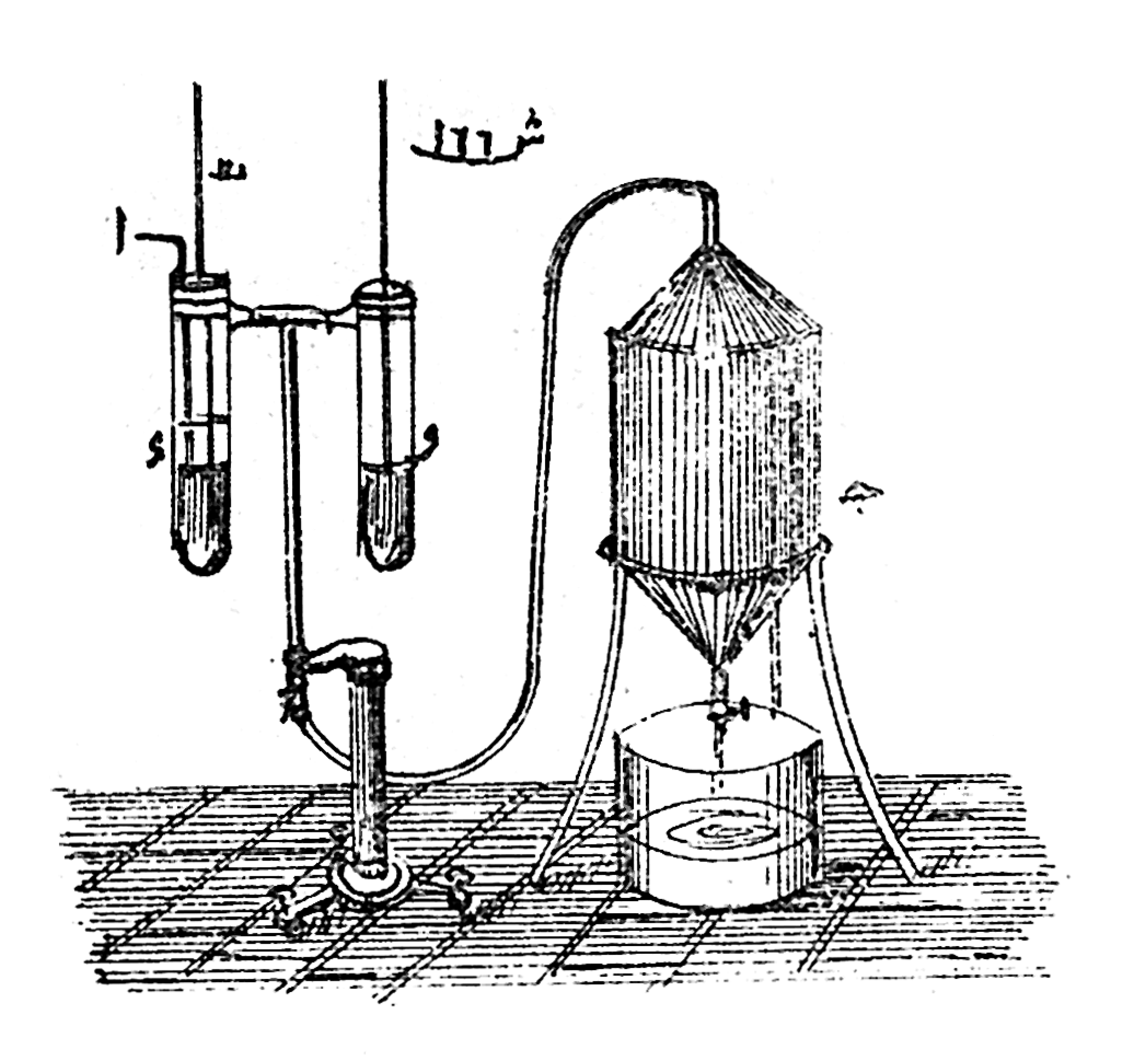
وبمقتضى هذه القاعدة اذا بحث فى جدولى قوّة المرونة عن الشدّة ف المقابلة لحرارة درجة تكون الندى تصير الشدّة بالضبط عين الشدّة التى لبخار الماء الكائن فى الهواء زمن التجربة واذا بحث حينئذ فى نفس الجدولين عن الشدّة فَ للبخار المتشبع فى حرارة الهواء بين ناتج قسمة الشدّة ف على الشدّة فَ الحالة الايجرومترية للهواء مثال ذلك اذا كانت حرارة الهواء ١٥ درجة وفرض أن ترمومتر كرة ا بين ٥ درجات زمن تكوّن الندى فبالبحث فى جدولى قوّة المرونة عن الشدّة المقابلة الى ٥ درجات والى ١٥ درجة يوجد فَ يساوى ٦,٥٣٤٠ من المليمتر و ف تساوى ١٢,٦٩٩ من المليمتر وهذا يعطى ٠,٥١٤ بنسبة فَ الى ف أو الحالة الايجرومترية

وايجروممتر دانيال يظهر عدّة أسباب مغلطة الاوّل أن التصعيد من على كرة ا لا يبرد الاسطح السائل فلا يعطى الترمومتر المغمور حرارة درجة تكوّن الندى بالضبط الثانى انه بمجاورة الشخص المكابد العمل للجهاز تتنوّع الحالة الايجرومترية للهواء المحيط به كما تتنوّع حرارته

(المبحث السادس فى ايجروممتر رينيول)

صنع رينيول ايجروممتر تكاثف لا تظهر فيه أسباب الغلط التى فى ايجروممتر دانيال

ويتركب من مخبارين صغيرين من فضة رقيقي الجدران ومصقولين ارتفاع كل منهما
٤٥ مليمتر وقطراهما ٢٠ كما فى شكل ١٦٦



وينظم فى هذين المخبارين أنبوبتان من زجاج ء و كلاهما محتو على ترمومتر
كثير الاحساس مثبت بواسطة سدادة ونافذ فى سدادة أنبوبة ء أنبوبة ا المفتوحة
الطرفين وواصلة الى قاع المخبار وأنبوبة ء هذه متصلة بالجاذب ج المملآن بالماء
بواسطة قائمة الحامل و بأنبوبة من الرصاص وأنبوبة و الغير متصلة بالجاذب محتوية
على ترمومتر معد لمعرفة حرارة الهواء زمن التجربة فقط
ولاجل تشغيل الايجرومتر يصب الاتير فى أنبوبة ء الى نصفها تقريبا ثم تفتح حنفية
الجاذب فيسيل الماء المالئ له ويتخلخل الهواء الكائن فى أنبوبة ء ثم بتأثير ضغط الجوّ
يدخل حينئذ الهواء من أنبوبة ا لكن حيث ان الهواء لا يمكنه النفوذ فى أنبوبة ء ولا
فى

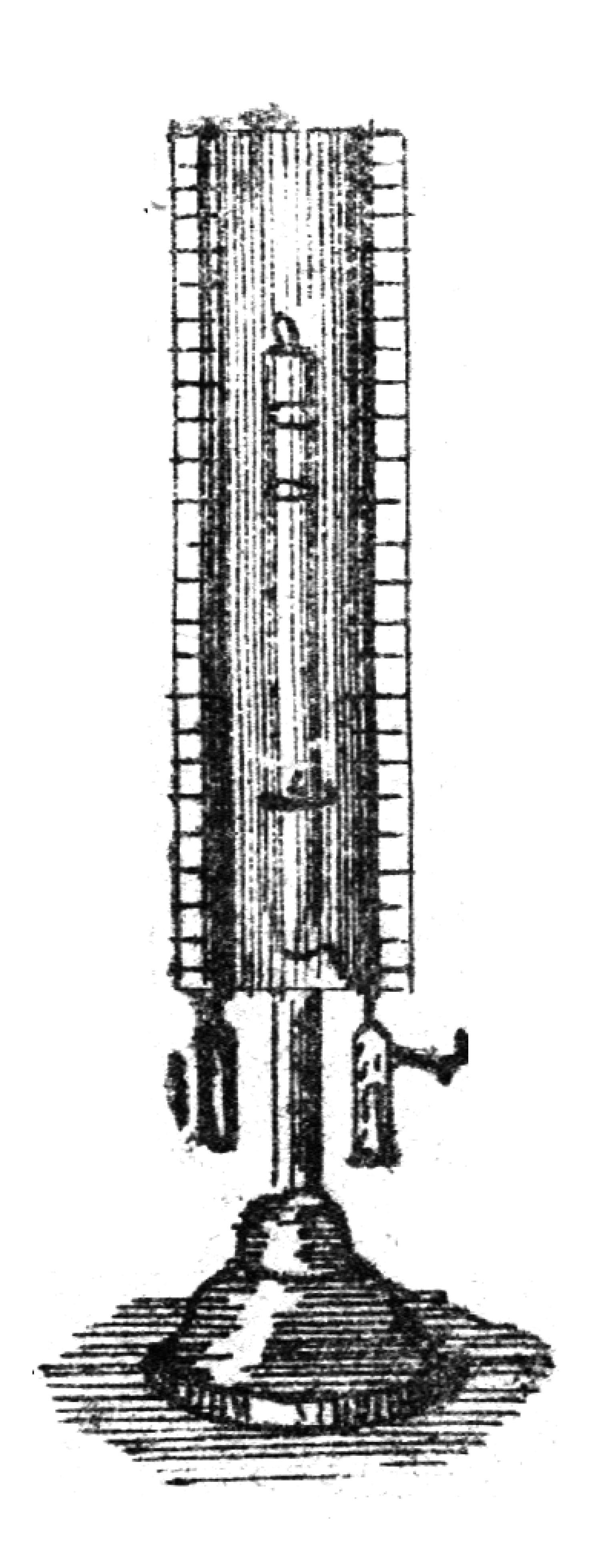
فى الجاذب الابخرورة من وسط الاتير فيصعد جزأ منه و يبرد حينئذ بسرعة زائدة كلما كان سيلان الماء سريعا و يأتى زمن تحدث فيه البرودة رسوب الندى على المخبار كما تحدثه فى ايجرومتردانيال وباعطاء ترمومتر ت حينئذ الحرارة المقابلة تحصل القواعد الضرورية لحساب الحالة الايجرومترية وفى هذه الآلة يكون جميع كتلة الاتير فى درجة حرارة واحدة بسبب التحريك الذى يحدثه فيها تيار الهواء وزيادة على ذلك فان المشاهدات تحصل من بعد بواسطة النظارة و بهذه الكيفية يبعد كل سبب مغالط

(المبحث السابع فى الايبسيكرومتر أى مقياس الطراوة)

الايبسيكرومتر المعروف بمقياس الطراوة معدّ كالايجرومتر لمعرفة درجة رطوبة الهواء وينسب اختراعه الى ليلى لكن أوجوست فى بيرلنت هو الذى أعطاه الوضع الآتى فى شكل ١٦٧

ويتركب من ترمومترين ا , ب متوازيين مثبتين على لوح من النحاس بينهما أنبوبة ث محتوية على الماء المقطر والمستودع ب مغلف بالشاش الرفيع المعروف بالموصلى وفتيلة من القطن خارجة من الطرف السفلى لانبوبة ث توصل الماء للشاش بحيث يبقى مبتلا فبمجرّد برودته بالتصعيد الذى يحدث على سطحه يبين ترمومتر ب بالضبط حرارة تكون أكثر انخفاضا من حرارة ترمومترا كلما كان التصعيد سريعا أعنى كلما كان الهواء أقل رطوبة ومن ذلك تستنتج الشدّة س للبخار الكائن فى الهواء المحيط بواسطة هذه المعادلة

شكل ١٦٧



$$ك(ت - تَ) = \frac{فَ - سَ}{ش} \quad (١)$$

التى فيها ت تبين حرارة الترمومترا الجاف و تَ تبين حرارة الترمومترالمندى بالماء و فَ

غاية شدّة البخار فى تَ و ش. ضغط الجو , ك مكرر التمدّد الغير محدود
وفى معادلة (١) يبين الحدّ الاوّل الحرارة التى يقبلها الترمومتر المندّى المناسبة بمقتضى قانون نيتون الآتى لفرق ت ـ تَ والحدّ الثانى يبين الحرارة الفاقدة بالتصعيد التى هى تبعا للدالتون بنسبة طردية لفرق فَ ـ س و بنسبة عكسية الى ش ومتى أخذ الترمومتر المندّى حرارة ثابتة تَ كان مقدار الحرارة التى يفقدها والتى يقبلها ضرورة متساويا
وهذا هو الذى يعطى المعادلة (١) ولاجل استعمال هذه المعادلة يلزم ابتداء تعيين ك ولاجل ذلك يقدر س بواسطة ايجرومتر رينيول وتوضع القيمة الموجودة حينئذ فى محل س من معادلة (١) وهذه المعادلة تعطى قيمة ك التى بنقلها فى نفس المعادلة تصيرها صالحة لمعرفة قيمتى س المقابلتين لقيمتى ت و تَ المختلفتين المتحصلتين بمشاهدة الابسيكرومتر
ومع ذلك فقد أثبت رينيول أن ك يتغير من ٠٠٠٠٧٥,٠ الى ٠٠١٣٠,٠ على حسب كون الهواء جافا تقريبا أو رطبا وان مكرر التمدد هذا يختلف أيضا على حسب تجدّد الهواء وعلى حسب كون الابسيكرومتر موضوعا فى الهواء الخالص أو المنحصر و ينتج من ذلك أن الدلالات المتحصلة بهذه الآلة غير أكيدة الضبط أعنى فيها بعض خلل

(المبحث الثامن فى مسائل الايجرومترى)

المسألة الاولى فى معرفة ثقل بخار الماء المحتوى عليه الحجم من الهواء ح فى درجة ت والايجرومتر ذو الشعرة مبين لدرجات م وكثافة البخار $\frac{٥}{٨}$ فبواسطة جدول غيلوساك المتقدّم توجد الحالة الايجرومترية والمقابلة لدرجات م من الايجرومتر وفى جدولى قوّة المرونة توجد الشدّة ش للبخار المتشبع فى درجة ت ومن ذلك ينتج أن المساواة ف = فَ × و المتقدّمة فى الحالة الايجرومترية تعرّفنا قوّة مرونة ف للبخار المبحوث عن ثقله

اذا تقرر ذلك فاللتر من الهواء في الصفر وفي ضغط ٧٦ ,٠ الذي ثقله ٢٩٣ ,١ جراما يكون ثقله في درجة ت وفي ضغط ف $\frac{١,٢٩٣ \text{ جراما} \times ف}{(١ + ك ت) ٧٦}$ كما تقدم في المسألة الخامسة من تمدد الغازات ويتبع ذلك أن اللتر الواحد من البخار الذي كثافته $\frac{٥}{٨}$ يزن في نفس الحرارة وفي نفس الضغط $\frac{٢٩٣,١ \times ف \times ٥}{(١ + ك ت) ٧٦ \times ٨}$ وحينئذ فيكون ثقل البخار الموجود في ح لتر من الهواء في درجة ت والحالة الايجرومترية كائنة و $\frac{٢٩٣,١ \times ح \times ف \times ٥}{(١ + ك ت) ٧٦ \times ٨}$ قيمة لا تتعلق بضغط الجو

المسألة الثانية في معرفة الثقل ث لحجم من الهواء الرطب ح الذي حالته الايجرومترية تكون و والحرارة ت والضغط ش وكثافة البخار بالنسبة للهواء $\frac{٥}{٨}$

لاجل حل هذه المسألة يلزم ملاحظة أن الحجم المعلوم من الهواء ليس (بمقتضى القانون الثاني من خلط الغازات والابخرة) الا مخلوط من ح لتر من الهواء الجاف في درجات ت وفي الضغط ش ناقص ضغط البخار ومن ح لتر من البخار في درجات ت وفي الشدة المعلومة بالحالة الايجرومترية ويكون حينئذ المقصود ايجاد ثقل كل من الهواء والبخار على انفراده

وحينئذ فالمعادلة المعروفة ف = فَ × و تخدم لمعرفة الشدة ف للبخار الذي في الهواء حيث و تكون معلومة و فَ توجد في جدولي قوة المرونة ومتى علمت الشدة ف ورمزنا بحرف ه لشدة الهواء يحصل ف + ه = ش ينتج ه = ش − ف = ش − فَ و

والمسألة حينئذ عرفت الثقل ح لتر من الهواء الجاف في درجة ت وفي الضغط ش − فَ و ثم الثقل ح لتر من البخار أيضا في درجة ت لكن في الضغط فَ و والمعلوم أن ح لتر من الهواء الجاف في درجة ت وفي الضغط ش − فَ و يزن

$$\frac{٢٩٣,١ \text{ ح} (ش - فَ و)}{(١ + ك ت) ٧٦}$$

وشوهد فى المسألة الاولى أن ح ليترات من البخار فى درجة ث وفى ضغط فً ويزن

$$\frac{\text{١،٢٩٣ ح} \times \text{فَ و} \times \text{٥}}{\text{(١ + ك ت) ٧٦} \times \text{٨}}$$

وأخيرا بجمع الثقلين المتحصلين واختصارهما

يتحصل $$\text{ث} = \frac{\text{١،٢٩٣ ح (شَ} - \frac{\text{٣}}{\text{٨}}\text{فَ و)}}{\text{(١ + ك ت) ٧٦}} \quad \text{(١)}$$

المسألة الثالثة المطلوب أن يعرف فى درجة ت وفى ضغط ش الحجم لثقل الهواء ث الذى حالته الايجرومترية تكون و وكثافة البخار $\frac{\text{٥}}{\text{٨}}$ ونهاية الشدة ف فى درجة ت معلومة من جدولى قوة المرونة

وهذه المسألة تحل بالنسبة الى ح معادلة (١) من المسألة المتقدمة

فيوجد $$\text{ح} = \frac{\text{ث (١ + ك ت) ٧٦}}{\text{١،٢٩٣ (شَ} - \frac{\text{٣}}{\text{٨}}\text{فَ و)}} \quad \text{(ب)}$$

ويمكن حل هذه المسألة مباشرة بكيفية مذكورة فى المطولات

(الفصل السادس فى الكالوريمترى وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى القصد من الكالوريمترى)

القصد من الكالوريمترى قياس كمية الحرارة التى تفقدها الاجسام أو تكتسبها متى انخفضت درجة حرارتها أو ارتفعت عددا معلوما من الدرج أو متى تغيرت حالتها ولا يمكن قياس الكمية المطلقة للحرارة المفقودة أو المكتسبة لجسم بل الكمية النسبية فقط أعنى النسبة بين الكمية المطلقة المفقودة أو المكتسبة لجسم والكمية التى يفقدها أو يكتسبها جسم آخر يحدث نفس الفعل والجسم الذى انتخب حدا للمقابلة هو الماء وأخذت لوحدة الحرارة كمية الحرارة اللازمة لرفع حرارة كيلوجرام واحد من الصفر الى درجة واحدة فوق الصفر

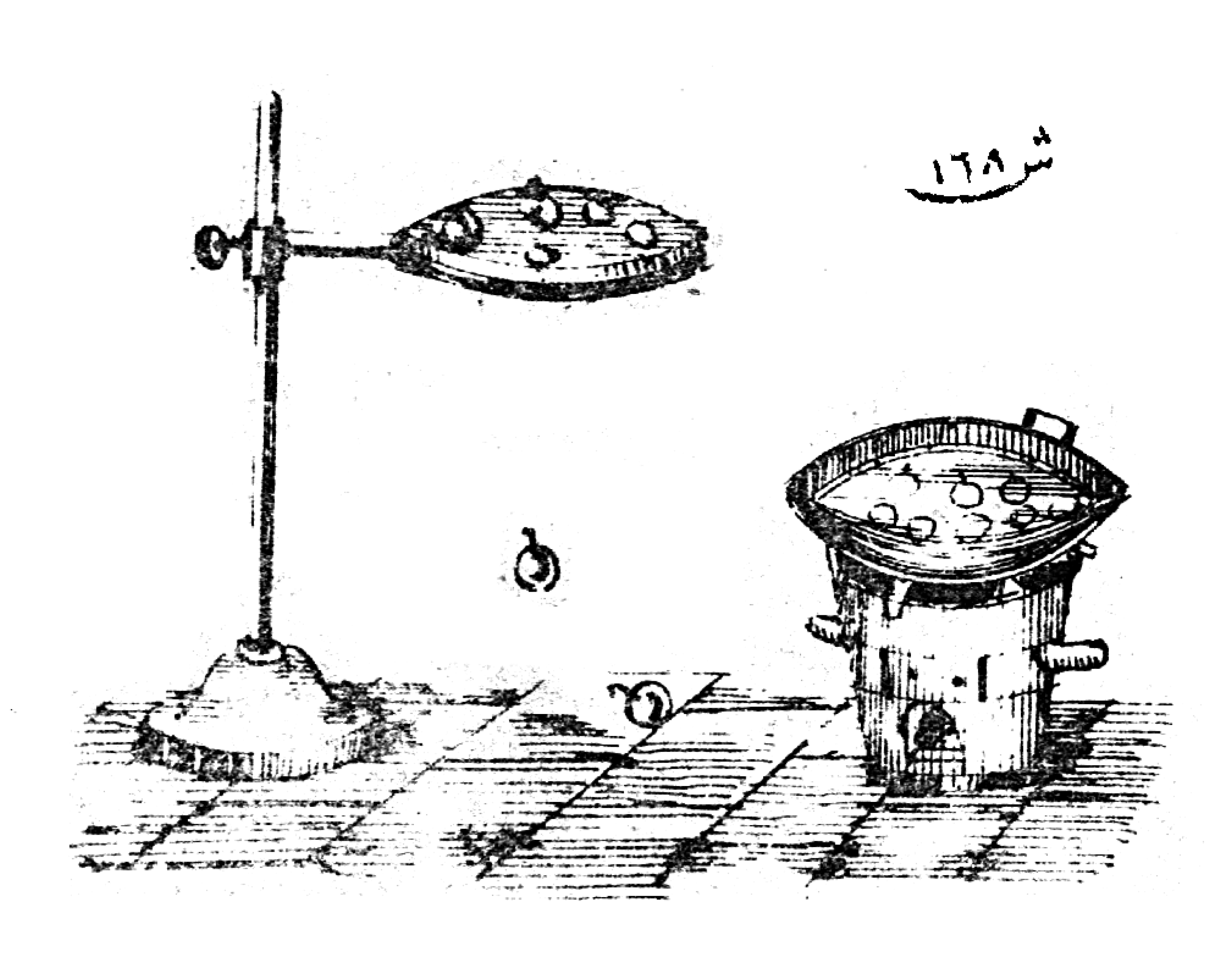
(المبحث الثانى فى الحرارة النوعية)

تسمى حرارة نوعية أو سعة الحرارة لجسم كمية الحرارة التى يكتسبها متى ارتفعت حرارته من الصفر الى درجة واحدة فوق الصفر بالنسبة الى كمية الحرارة التى يكتسبها ثقل مساوله من الماء اذا ارتفعت حرارته من الصفر الى درجة واحدة فوق الصفر أعنى انه

أنه كما انتخب لوحدة الكثافات كثافة الماء أخذت لوحدة الحرارة النوعية حرارة الماء أيضا و ينتج من ذلك أن الاعداد التي تبينها الحرارات النوعية وكذا الاعداد التي تبينها الكثافات متناسبة

و يثبت بسهولة أن جميع الاجسام ليست حرارتها النوعية واحدة اذا خلط مثلا واحد كيلوجرام من الزئبق في درجة ١٠٠ مع واحد كيلوجرام من الماء في الصفر فانه يشاهد أن حرارة المخلوط تكون ثلاث درجات تقريبا أعني أن السبعة والتسعين درجة التي فقدها الزئبق لم تسخن مقدار الماء المساوي له الا ثلاث درجات وحينئذ فقد أخذ الماء حرارة أكثر من الزئبق ٣٢ مرة تقريبا لارتفاعهما درجات واحدة من الحرارة

و يثبت أيضا أن الاجسام المختلفة المتساوية في الثقل والحرارة تحتوي على كميات مختلفة من الحرارة بواسطة تجربة تندال وهي أن يصب في قالب قرص من الشمع الاصفر قطره من ١٥ الى ٢٠ سنتيمترا وثخانته ١٢ مليمترا تقريبا ومتى برد يوضع على حامل حلقي شكل ١٦٨



فحينئذ تسخن فى حمام زيت لدرجة ١٠٠ كرات صغيرة من حديد ونحاس أحمر وقصدير ورصاص وبزموت وغيرها جميعها متساوية الاثقال ومتى أخذت حرارة الحمام تخرج منه وتوضع على القرص الشمع فجميعها يذوب الشمع لكن بسرع مختلفة فالحديد يغوص فيه بسرعة ويمر منه ثم يليه النحاس والقصدير يثقب القرص لكن لا يمر منه وأخيرا البزموت والرصاص لا يصل تأثيرهما الى نصف ثخانة القرص وينتج من ذلك أن كرة الحديد تحتوى على حرارة أكثر من كرة النحاس وكرة النحاس أكثر من كرة القصدير وهكذا مع كونها متساوية فى الثقل والحرارة

واستعملت ثلاث طرق لتعيين الحرارة النوعية طريقة ذوبان الجليد وطريقة الخلط وطريقة التبريد وفى هذه الطريقة الاخيرة تحسب الحرارة النوعية لجسم على حسب الزمن الذى يبرد فيه جملة درجات معلومة

ولا نتعرض الا لذكر الطريقتين الاوليين لكن قبل كل شئ يهتم بمعرفة كيفية قياس مقدار الحرارة التى يكتسبها جسم معلوم الكتلة والحرارة النوعية متى ارتفعت حرارته بعض عدد من الدرج

(المبحث الثالث فى قياس الحرارة النوعية أى المحسوسة المتشربة بالاجسام)

ليكن م ثقل الجسم بالكيلوجرام و ث حرارته النوعية و ت درجة حرارته وحيث ان كمية الحرارة اللازمة لرفع واحد كيلوجرام من الماء من الصفر الى درجة فوق الصفر مأخوذة وحدة فيلزم م من هذه الوحدات لترفع من الصفر الى درجة فوق الصفر ثقلا من الماء م كيلوجرامات ولاجل رفع هذا الثقل الاخير من الصفر الى درجة ت يلزم ت مرارا كثيرة أعنى م ت وحيث ان هذه هى كمية الحرارة اللازمة لان ترفع من الصفر الى درجة ت م كيلوجرامات من الماء الذى حرارته النوعية مقدرة بواحد فيلزم للجسم المماثل له فى الثقل الذى حرارته النوعية ث ث مرارا م ت أو م ت ث وحينئذ فمتى سخن جسم من الصفر الى درجة ت أمكن أن تبين كمية الحرارة التى يتشربها بالناتج المتحصل من ضرب ثقله فى عدد الدرجات التى سخن اليها وفى حرارته النوعية وهذه القاعدة هى أساس القوانين المستعملة لتعيين الحرارة النوعية

فاذا سخن الجسم أو برد من درجة ت الى تَ صارت الحرارة الممتصة أو الفاقدة مبينة أيضا بقانونى م (تَ ـ ت) ث أو م (ت ـ تَ) ث

وبهذين

وبهذين القانونين تحل التلامذة جميع مسائل الحرارة النوعية

(المبحث الرابع في طريقة الخلط)

لاجل حساب الحرارة النوعية لجسم صلب بطريقة الخلط المنسوبة الى بلاك يوزن الجسم ويتقل لحرارة معلومة تعين بمكثه زمنا يسيرا في تيار من بخار الماء درجته ١٠٠ ثم يغمر في كتلة من الماء البارد وزنها ودرجة حرارتها معلومان أيضا فمن كمية الحرارة التي تركها الجسم للماء تستنتج حينئذ حرارته النوعية والجهاز المستعمل لهذه التجربة هو الكالوريمتر المائي ويتركب من اناء أسطواني من النحاس الاصفر أو الفضة جدرانه رقيقة مصقولة ممسوك بخيوط من حرير كما في شكل ١٦٩ لاجتناب فقد الحرارة بالتوصيل وهذا الاناء ملآن بالماء ومغمور فيه ترمومتر كثير الاحساس وأنبوبة من زجاج مصمتة ا تخدم لتحريك السائل عندما يسخن اذا تقرر ذلك نرمز بحرف م لوزن الجسم وبحرف ت لدرجة حرارته زمن غمره في السائل وبحرف ث لحرارته النوعية وأيضا ليكن مَ وزن الماء البارد و تَ درجة حرارته وأخيرا ليكن مً وزن الاناء المحتوى على الماء و ثً حرارته النوعية و تً درجة حرارته ومثلها تكون درجة حرارة الماء

ش ١٦٩

فبمجرد غمر الجسم المسخن في الماء ترتفع درجة حرارته واذا رمزنا بحرف ف لاعلى درجة يصل اليها يشاهد أن الجسم يبرد عدة درجات تبين هكذا ب (ت ـ ف) وبناء على ذلك فيفقد الجسم كمية من الحرارة قياسها م ث (ت ـ ف) والماء والاناء بالعكس فانهما يسخنان عدة درجات تساوى (ف ـ تَ) ويتشربان كميات من

الحرارة تساوى مَ (فَ ـ تَ) و مً ثً (ف ـ تً) لان الحرارة النوعية للماء هي الوحدة وحيث ان كمية الحرارة التي تركها الجسم المسخن مساوية بالضبط لمجموع كميات الحرارة التي امتصها الماء والاناء فتحصل حينئذ المساواة م ث (ت ـ ف) = مَ (ف ـ تَ) + مً ثً (ف ـ تَ) (١) ومنها نستخرج بسهولة قيمة ث متى كانت الحرارة النوعية ثً للاناء معلومة فاذا لم تكن معلومة يلزم أن يبتدأ بتعيينها بأن يغمر في الماء جسم مسخن من نفس مادة الاناء و بناء على ذلك فله نفس الحرارة النوعية و يأخذ القانون السابق حينئذ الشكل م ثً (ت ـ ٠) = مَ (٠ ـ تَ) + مً ثً (٠ ـ تَ) (٢) وبحله بالنسبة الى ثً الذي هو المجهول الآن فقط يوجد

ثً = مَ (٠ ـ تَ) / م (ت ـ ٠) ـ مً (٠ ـ تَ) ومتى علمت الحرارة النوعية للاناء

فلاجل حل قانون (١) المذكور يوضع في الحد الثاني (٠ ـ تُ) كسرا عاما فيحصل حينئذ م ث (ت ـ ٠) = (مَ + مً ثً) (٠ ـ تَ) (٣) وبقسمة الحدين على م (ت ـ ٠) يحصل ث = (مَ + مً ثً) (٠ ـ تَ) / م (ت ـ ٠) (٤)

وتكتب في الغالب قيمة ث على هذا الشكل

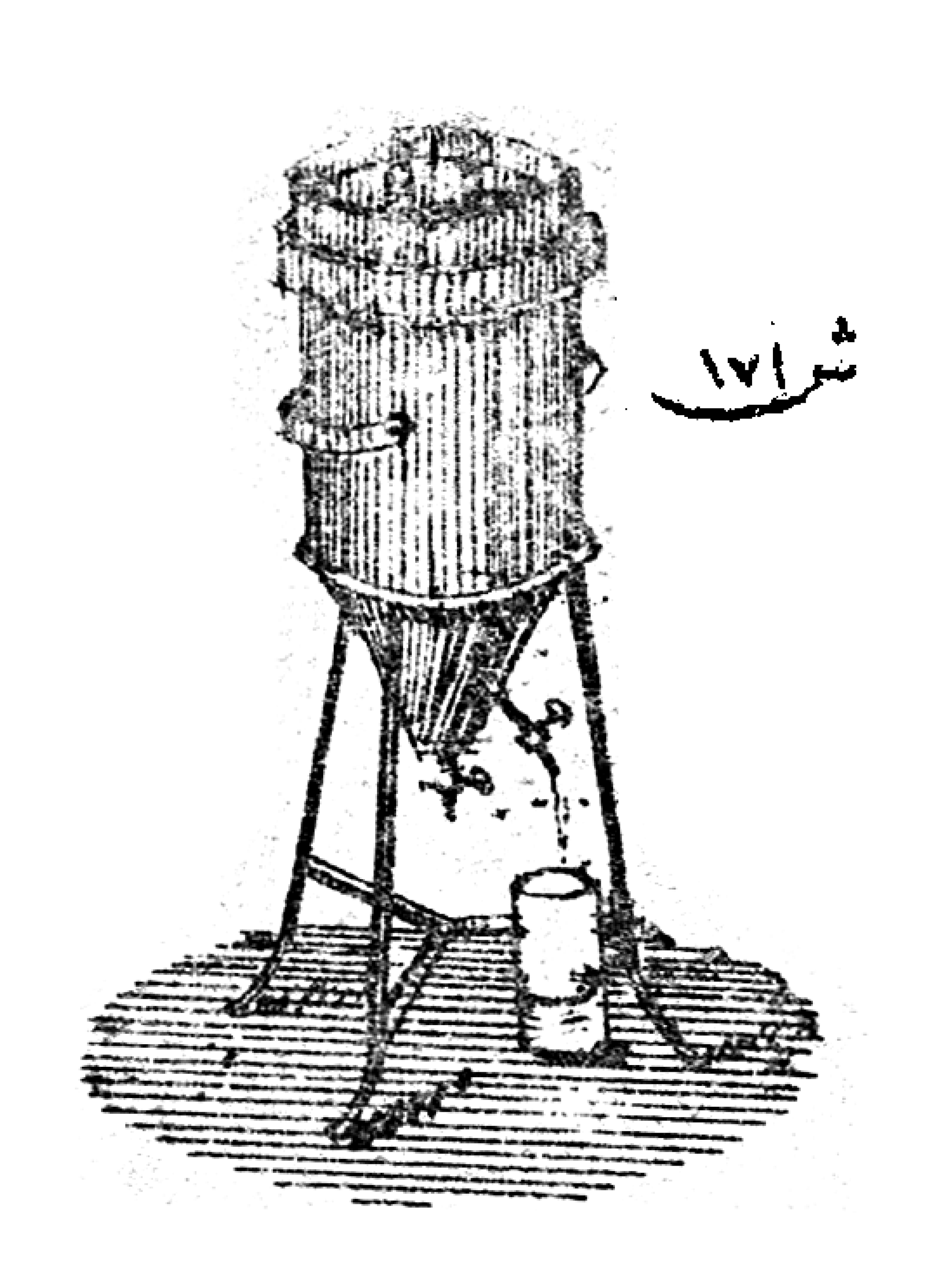
ث = (مَ + ب) (٠ ـ تَ) / م (ت ـ ٠) (٥) و يوضع مً ثً = ب أعني أن ب هو ثقل الماء الذي أخذ نفس كمية حرارة الاناء

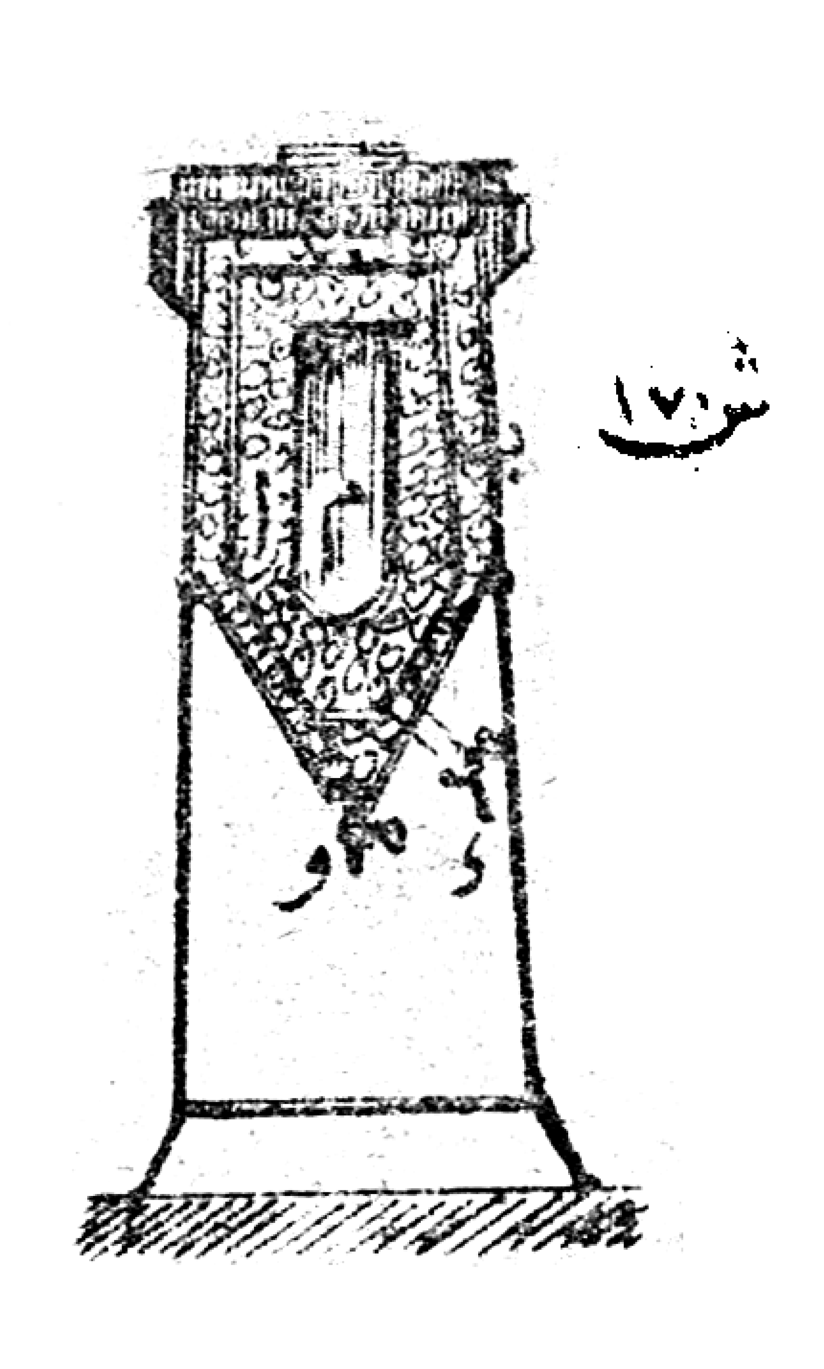
وأخيرا يلزم لاجل اعطاء طريقة الخلط غاية الضبط أن تحسب أيضا الحرارة التي اكتسبها زجاج وزئبق الترمومتر ووضع رينيول جهاز الطريقة الخلط موضحا في المطولات

المبحث

(المبحث الخامس فى طريقة ذوبان الجليد)

الطريقة التى نحن بصددها مؤسسة على الحرارة الكامنة الممتصة بالجليد الذى يذوب ومقدارها كما سنشاهده فى مبحث حرارة ذوبان الجليد ٧٩ وحدة للكيلوجرام الواحد من الجليد والجهاز المستعمل فى هذه الطريقة المنسوب الى لافوازييه ولابلاس يسمى كالوريمتر الجليد وشكل ١٧٠ يبين منظوره وشكل ١٧١ يبين قطاعه





ويتكون هذا الجهاز من ثلاث غلافات من التنك متداخلة ففى الجزء المركزى يوجد جسم م الذى يبحث عن حرارته النوعية والجزآن الآخران ملآنان بالجليد المجروش وجليد جزء ا معدلان يذوب بالجسم المسخن وجليد جزء ب معد لمنع الحرارة التى تشعع من الاشياء المحيطة الى الجهاز وحنفيتا ى و و يخدمان لسيلان الماء الناشئ عن ذوبان الجليد

فلاجل ايجاد الحرارة النوعية لجسم صلب بواسطة هذا الجهاز يعين أولا ثقل الجسم م بالكيلوجرامات ثم ينقل لدرجة حرارة معلومة ت بوضعه بعض زمن فى حمام ساخن من الماء أو الزيت أو فى تيار من البخار ثم ينقل بعد ذلك بسرعة فى الغلاف المركزى وتوضع الاغطية ثانيا حالا وتغطى بالجليد كما يظهر من الشكل المذكور ويستقبل

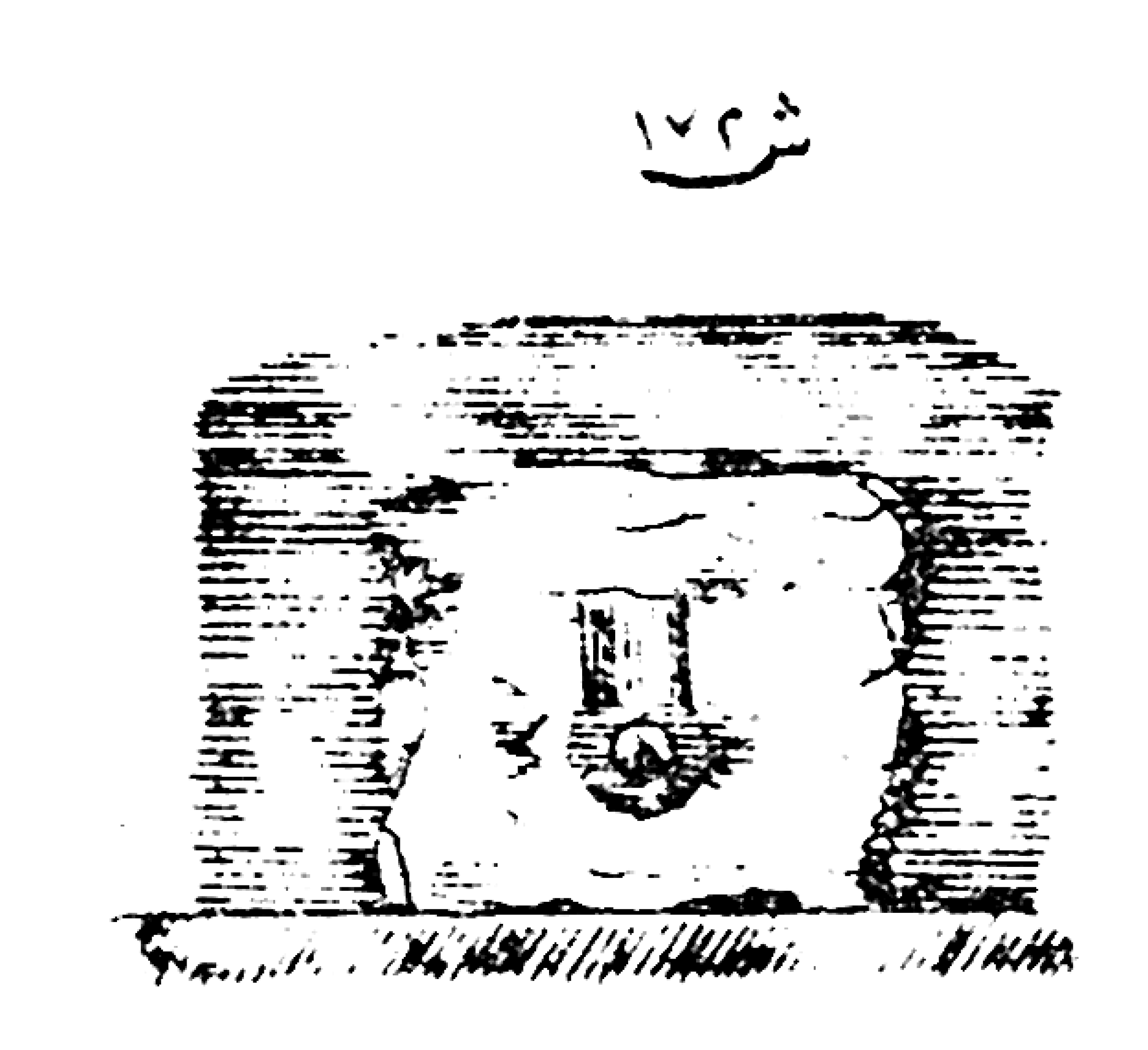
حينئذ الماء الذى يسيل من حنفية ء ومتى وقف السيلان يعين ثقله ب بالكيلوجرامات وهذا الثقل يعين ثقل الجليد الذائب بالضبط

وحيث ان للكيلوجرام الواحد من الجليد الذائب ٧٩ وحدة من الحرارة المختفية فيلزم ان يختفى لاجل ب كيلوجرامات ب مرارا ٧٩ ومن جهة أخرى فمقدار هذه الحرارة يكون ضرورة مساويا للمقدار الذى فقده الجسم م مدة برودته من درجة ت الى الصفر أعنى الى م ت ث كما تقدم فى قياس الحرارة المحسوسة الممتصة بالاجسام

ويحصل حينئذ م ت ث = ٧٩ ب وينتج ث = $\frac{\text{٧٩ ب}}{\text{م ت}}$

وطريقة كالوريمتر الجليد تظهر عدة أسباب مغالطة أعظمها هو مكث جزء من الماء الناشئ عن الذوبان ملتصقا بالجليد الذى لم يذب وحينئذ فلا يمكن تقدير الثقل ب بالضبط وزيادة على ذلك فان الهواء الظاهرى الذى يدخل فى الكالوريمتر من الحنفيتين يزيد فى كمية الجليد الذائب ويتدارك جزء من هذا الضرر بعمل حفرة عميقة فى قطعة من الجليد بواسطة قطعة حديد مسخنة ثم يوضع فى هذه الحفرة الجسم الذى يبحث عن حرارته النوعية بعد تسخينه لدرجة حرارة معلومة كما فى شكل ١٧٢ وتساوى حوافى الحفرة من قبل بالحديد المسخن وتغطى بقطعة من الجليد متساوية أيضا مع الاعتناء بشرط أن تغلق بالضبط ومتى تحققت برودة الجسم الى الصفر فانه يخرج كما أخرج ماء الذوبان وحيث تعين ثقل الماء فلا يبقى الا وضعه فى القانون المذكور

شكل ١٧٢



(المبحث السادس فى الحرارة النوعية للسوائل)

الحرارة النوعية للسوائل تتعين أيضا بطريقة التبريد وبطريقة الخلط او بطريقة

أو بطريقة كالوريمتر لافوازييه ولابلاس وانما يلزم فى هذه التجربة الاخيرة أن تكون السوائل منحصرة فى اناء أو فى أنابيب من زجاج توضع فى جزء م من شكل السابق وبمقابلة أعداد الجدول الآتى ببعضها يشاهد أن الحرارة النوعية للماء وعطر الترمنتينا أكثر من الحرارة النوعية للاجسام الاخر ولاسيما المعادن وهذه الخاصية عامة فى السوائل ولكون الماء له حرارة نوعية كثيرة يمكث زمنا كثيرا حتى يسخن أو يبرد ويمتص حينئذ أو يترك حرارة أكثر من جميع الاجسام الاخر المساوية له فى الكتلة ودرجة الحرارة

وهذه الخاصية المزدوجة نافعة فى سقى الصلب وفى التسخين بدوران الماء المسخن

الحرارة النوعية المتوسطة للجوامد والسوائل فيما بين الصفر ودرجة ١٠٠

عين رينيول بطريقتى الخلط والتبريد الحرارة النوعية لعدد كثير من الاجسام ونذكر هنا أعداد الاجسام الكثيرة الاستعمال فى الصنائع التى تحصل عليها بالطريقة الاولى

أجسام	حرارة نوعية	أجسام	حرارة نوعية
ماء	١٫٠٠٨٠	كوبالت	٠٫١٠٦٩٤
عطر الترمنتينا	٠٫٤٢٥٩٠	خارصين	٠٫٠٩٥٥٥
فحم حيوانى مكلس	٠٫٢٦٠٨٥	نحاس	٠٫٠٩٥١٥
فحم نباتى مكلس	٠٫٢٤١١١	نحاس أصفر	٠٫٠٩٣٩١
كبريت	٠٫٢٠٢٥٩	فضة	٠٫٠٥٧٠١
جرافيت	٠٫٢٠١٨٧	قصدير	٠٫٠٥٦٢٣
زجاج الترمومترات	٠٫١٩٧٦٨	يود	٠٫٠٥٤١٢
فصفور	٠٫١٨٨٧٠	أنتيمون	٠٫٠٥٠٧٧
ماس	٠٫١٤٦٨٧	زئبق	٠٫٠٣٣٣٢
زهر أبيض	٠٫١٢٩٨٣	ذهب	٠٫٠٣٢٤٤
صلب	٠٫١١٧٥٠	بلاتين مصفح	٠٫٠٣٢٤٣
حديد	٠٫١١٣٧٩	رصاص	٠٫٠٣١٤٠
نيكل	٠٫١٠٨٦٣	بزموت	٠٫٠٣٠٨٤

والاعداد المنحصرة فى هذا الجدول تبين الحرارة النوعية المتوسطة بين الصفر ودرجة ١٠٠ ونتج من أشغال دولونغ وبوتيت على الحرارة النوعية أنها تزداد مع ازدياد درجة الحرارة فالحرارة النوعية للمعادن مثلا تكون بين درجة ١٠٠ و ٢٠٠ أكثر مما بين الصفر ودرجة ١٠٠ وتزداد كثيرا أيضا من درجة ٢٠٠ الى ٣٠٠ وبالاختصار فيكون ازدياد الحرارة النوعية بازدياد الحرارة أكثر ظهورا كلما كانت الاجسام أكثر قربا من درجة سيحانها وبالعكس فكل تأثير يزيد كثافة الجسم وانضمام أجزائه ينقص حرارته النوعية

والحرارة النوعية للسوائل تزداد بسرعة بازدياد درجة الحرارة أكثر من ازدياد الحرارة النوعية للجوامد ومع ذلك فيستثنى الماء لان حرارته النوعية تزداد أقل جدا من الحرارة النوعية للسوائل الاخر وأخيرا فان الجسم الواحد تكون حرارته النوعية فى حالة السيولة أكثر من حرارته النوعية فى حالة الصلابة مثال ذلك الحرارة النوعية للجليد فانها تكون نصف الحرارة النوعية للماء وفى الحالة الغازية تكون الحرارة النوعية أقل كثيرا مما فى حالة السيولة

(المبحث السابع فى الحرارة النوعية للغازات)

الحرارة النوعية للغازات تنسب اما للحرارة النوعية للماء أو للحرارة النوعية للهواء ففى الحالة الاولى تتعين كمية الحرارة اللازمة لرفع ثقل معلوم من الغاز درجة واحدة بالنسبة الى الحرارة التى تلزم لرفع ثقل مثله من الماء وفى الحالة الثانية تتعين كمية الحرارة اللازمة لرفع حجم معلوم من الغاز درجة واحدة بالنسبة للحرارة التى تلزم لرفع حجم مثله من الهواء وفى هذه الحالة الاخيرة تفرض الغازات فى ضغط ثابت وحجم متغير أو الا وفق فى حجم ثابت تحت ضغط متغير

والذى عين الحرارة النوعية للغازات بالنسبة للماء سنة ١٨١٢ هو دولاروش وبيرار وكيفية ذلك أن تقاس كمية الحرارة التى تركها الثقل معلوم من الماء ثقل معلوم أيضا من غاز يدور فى ثعبانى موضوع فى هذا الماء ومنها تستنتج بعد ذلك الحرارة النوعية للغاز بواسطة حساب مشابه للحساب الذى أعطى فى طريقة الخلط

والطبيعيان المذكوران عينا الحرارة النوعية للغازات فى ضغط ثابت بالنسبة للهواء بأن قوبلت ببعضها كميات الحرارة التى تركتها الثقل واحد من الماء أحجام متساوية

متساوية من الغاز والهواء فى درجة حرارة واحدة وضغط جوى واحد مدة التجربة وبعد أشغال دولاروش وبيرار استعمل ريف ومارسيت سنة ١٨٣٥ طريقة التبريد لتعيين الحرارة النوعية للغازات وهناك كيفيات أخر لتعيين الحرارة النوعية للغازات مذكورة فى المطولات وأعطى دولاروش وبيرار القانون الاول الآتى على الحرارة النوعية للغازات وأعطى دولونغ القانون الثانى

القانون الاول ان جميع الغازات البسيطة المتساوية الاحجام تكون حرارتها النوعية متساوية

القانون الثانى انه متى اتحد غازان بدون تكثف فالغاز الناتج يكون له فى حجم متساو نفس الحرارة النوعية التى للغازين البسيطين المكونين له وظهر من تجارب رينيول أن القانون الاول لا يكون منتظما الا فى الغازات المعرضة لقانون مريوط أعنى البعيدة عن درجة ميوعتها والتجارب المذكورة لم تثبت القانون الثانى

(الحرارة النوعية للغازات البسيطة بالنسبة للماء)

غاز	فى حجم متساو	فى ثقل متساو
أوكسيجين	٠٫٢٤٠٤٩	٠٫٢١٧٥١
ايدروجين	٠٫٢٣٥٩٠	٠٫٤٠٩٠٠
أزوت	٠٫٢٣٦٨٠	٠٫٢٤٣٨٠
كلور	٠٫٢٩٦٤٥	٠٫١٢٠٩٩

(المبحث الثامن فى قياس حرارة الذوبان الكامنة)

علم مما تقدم أنه متى انتقلت الاجسام من حالة الصلابة الى حالة السيولة يوجد اختفاء كمية من الحرارة الكامنة كثيرة الاعتبار أو قليلته وحرارة السيحان لجسم صلب هى كمية الحرارة الضرورية لانتقال واحد كيلوجرام من هذا الجسم من حالة الصلابة الى حالة السيولة بدون ارتفاع درجة الحرارة وتعيين حرارة ذوبان الاجسام بطريقة الخلط بالاستناد على هذه القاعدة التى تظهر واضحة وهى أنه متى تجمد جسم سائل انتشرت كمية من الحرارة مساوية لكمية الحرارة التى تشربها مادة سيحانه ولكن المقصود تعيين حرارة سيحان الرصاص مثلا فيسيح ثقل م من هذا الجسم وبعد

معرفة حرارته تَ يصب فى كتلة من الماء معلوم ثقلها مَ وحرارتها تَ اذا تقرر ذلك نرمز بحرف ث للحرارة النوعية للرصاص وبحرف ز لحرارة سيحانه أعنى كمية الحرارة المستعملة لسيحان وحدة الاثقال أو كمية الحرارة التى تظهر ثانيا زمن التجمد وأخيرا ليكن ف الحرارة الاخيرة التى يأخذها الماء المسخن بالرصاص فبسخونة كتلة الماء من تَ الى ف درجة أخذ كمية من الحرارة تتعين بواسطة مَ (ف ـ تَ) ومن جهة أخرى فان كتلة الرصاص ببرودتها من ت الى ف تركت من جهة كمية من الحرارة م ث (ت ـ ف) ومن جهة أخرى وقت التجمد صعد منها كمية من الحرارة تتعين بواسطة م ز وتحصل حينئذ هذه المعادلة

م ث (ت ـ ف) + م ز = مَ (ف ـ تَ) ومن ذلك ينتج

$$ز = \frac{مَ\ (ف - تَ) - م\ ث\ (ت - ف)}{م}$$

(المبحث التاسع فى حرارة ذوبان الجليد)

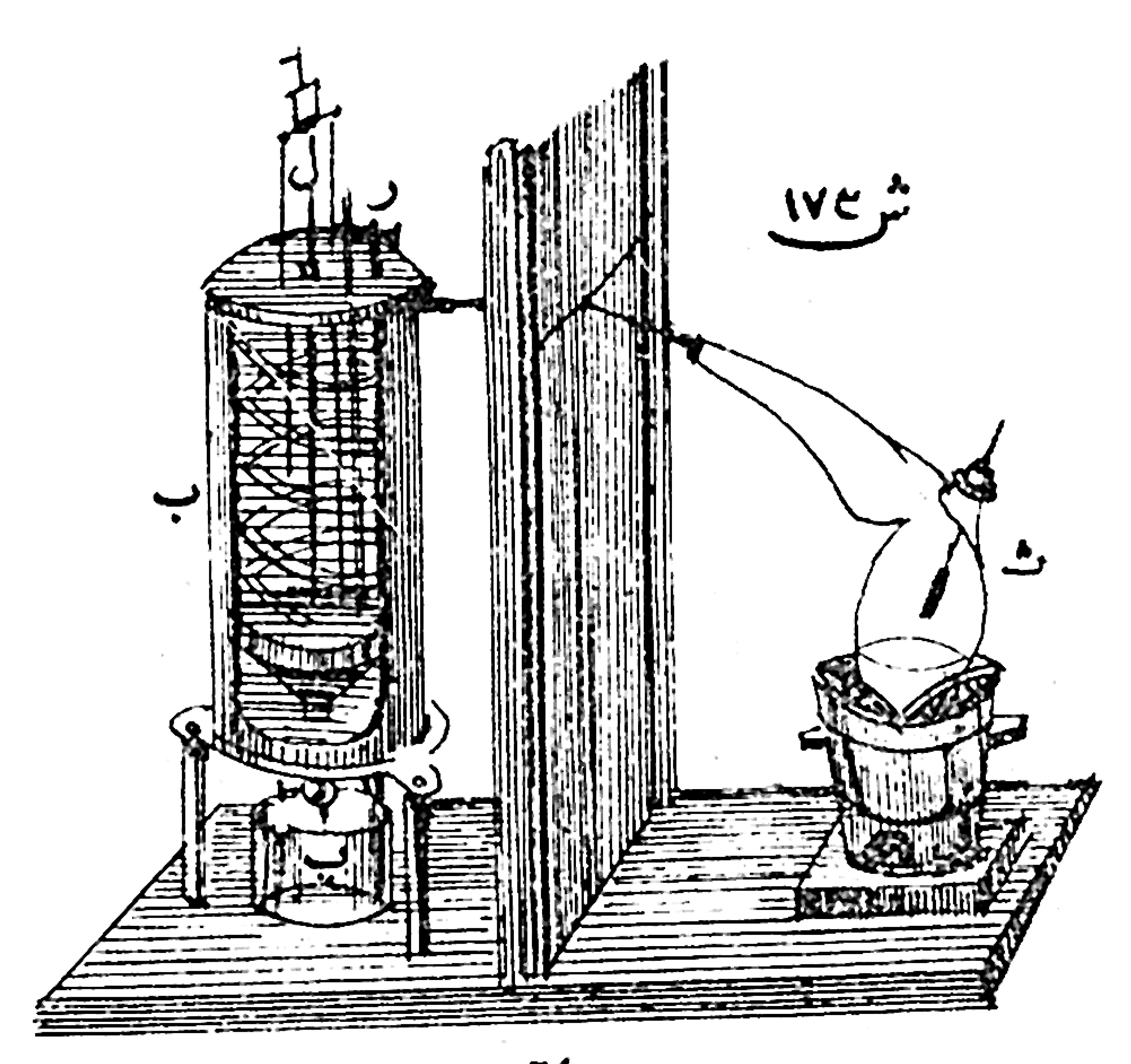
تتعين حرارة ذوبان الجليد بطريقة الخلط أيضا ولاجل ذلك ليكن م ثقلا من الجليد فى الصفر و مَ ثقلا من الماء المسخن لدرجة ت كافيا لذوبان جميع الجليد فيلقى الجليد فى الماء ومتى تم ذوبانه تقاس درجة حرارة المخلوط ويرمز لها بحرف ف فبيرودة الماء من درجة ت الى ف يترك كمية من الحرارة تساوى مَ (تَ ـ ف) واذا رمز لحرارة ذوبان الجليد بحرف ز فيكون قد اكتسب لاجل ذوبانه كمية من الحرارة م ز لكن الماء المتحصل منه بعد الذوبان يسخن وترتفع درجته من الصفر الى درجة ف ويكون أخذ حينئذ كمية من الحرارة م ف وحينئذ تتحصل المعادلة م ز + م ف = مَ (تَ ـ ف) ومن ذلك تستخرج قيمة ز وبهذه الطريقة مع الانتباه لاجتناب كل سبب مغلط وجد أن حرارة ذوبان الجليد هى ٧٩ درجة أعنى أن الكيلوجرام الذى يذوب من الجليد يخفى فى حالة كون كمية الحرارة اللازمة لرفع ٧٩ كيلوجراما من الماء من الصفر الى درجة واحدة فوق الصفر أو لرفع كيلوجرام واحد من الماء من الصفر الى ٧٩ درجة +

والمعلم بيرسون الذى بحث كثيرا عن حرارة الذوبان وجد بالتجربة الاعداد الآتية لحرارة ذوبان جملة أجسام بسيطة ومركبة

جليد	٧٩،٢٥	بزموت	١٢،٦٤
ازوتات الصودا	٦٢،٩٧	كبريت	٩،٣٧
خارصين	٢٨،١٣	رصاص	٥،٣٧
فضة	٢١،٠٧	فصفور	٥،٠٣
قصدير	١٤،٢٥	مخلوط دارسيه	٤،٥٠
كادميوم	١٣،٦٦	زئبق	٢،٨٣

(المبحث العاشر فى قياس الحرارة الكامنة للتبخر)

تقدم فى مبحث الحرارة الكامنة للابخرة أن السوائل عند تبخرها تخفى كمية عظيمة من الحرارة تسمى بالحرارة الكامنة أو حرارة التبخر ولاجل تعيين حرارة التبخر لسائل أعنى مقدار الحرارة التى يتشربها الكيلوجرام الواحد من هذا السائل ليتصاعد بخارا بدون أن تزيد درجة الحرارة تستعمل عين الطريقة المستعملة لتعيين الحرارة النوعية للغازات بالنسبة للحرارة النوعية للماء وشكل ١٧٣



يوضح الجهاز الذى استعمله دسبيرتز للبحث عن ذلك فالبخار يتولد فى معوجة ث وتبين حرارته فيها بواسطة ترمومتر ثم يتجه فى الثعبانى المغمور فى الماء البارد وفيه يتكثف ويترك حرارته الكامنة للثعبانى وماء اناء ب والماء الناتج عن التكثف يستقبل فى قابلة ب المتصلة بالثعبانى ويستخرج منها بعد انتهاء التجربة لاجل وزنه وثقله هو ثقل البخار الذى وصل الى الثعبانى والمحراك ا الذى يحرك باليد يخدم لمزج طبقات الماء فى اناء ب بعضها التكون كتلة السائل جميعها فى درجة حرارة واحدة وتعرف بواسطة ترمومتر ل الموضوع فى محور الثعبانى واخيرا تخرج من قابلة ب أنبوبة منتهية بحنفية ر فتى أريد تغيير الضغط وبالتبعية حرارة البخار توصل هذه الحنفية بواسطة أنبوبة من الصمغ المرن مع الآلة المفرغة أو طلونبة كابسة

اذا علمت هذه التفاصيل فلاجل تعيين حرارة التبخر لسائل فى المعوجة يسخن ابتداء الى الغليان وتوصل حينئذ المعوجة بالثعبانى ثم بعد قطع الاتصال يجنى الماء الذى تكثف فى قابلة ب ويوزن

وليكن حينئذ م ثقل البخار المتكثف و ت حرارته عند دخوله فى الثعبانى و ز حرارته عند التبخر وليكن أيضا مَ ثقل الماء المغمور فيه الثعبانى ومشتملا على ثقل اناء ب والثعبانى والترمومتر والمحراك و تَ الحرارة الاولى للماء و ف الحرارة الاخيرة عند وقوف التجربة

والحرارة التى تركها الكيلوجرام الواحد من البخار الذى تكثف تكون ز والحرارة التى تركتها الكيلوجرامات م من البخار بفعل التكثف فقط تكون م ز وزيادة على ذلك بقطع النظر عن التكثف فبرودة الثقل م من درجة ت الى ف يفقد كمية من الحرارة تتعين بواسطة م (ت ـ ف) ويشاهد من ذلك أن الكمية الكلية للحرارة التى تركها البخار هى م ز + م (ت ـ ف) وخلاف ذلك فالحرارة التى اكتسبها الماء والاناء والز وائد الاخر تكون مَ (ف ـ تَ) ويتحصل حينئذ م ز + م (ت ـ ف) = مَ (ف ـ تَ) ومنه ينتج ز = $\frac{\text{مَ (ف ـ تَ) ـ م (ت ـ ف)}}{\text{م}}$

وهكذا وجد دسبيرتز لحرارة مرونة بخار الماء درجة ١٠٠ عدد ٥٤٠ أعنى ان

أنّ الكيلوجرام الواحد من الماء بدرجة ١٠٠ يأخذ لتبخره الحرارة اللازمة لرفع ٥٤٠ كيلوجراما من الماء من الصفر الى درجة فوق الصفر ووجد رينيول ٥٣٧ وفابر وسلبيرمان ٥٣٥,٨

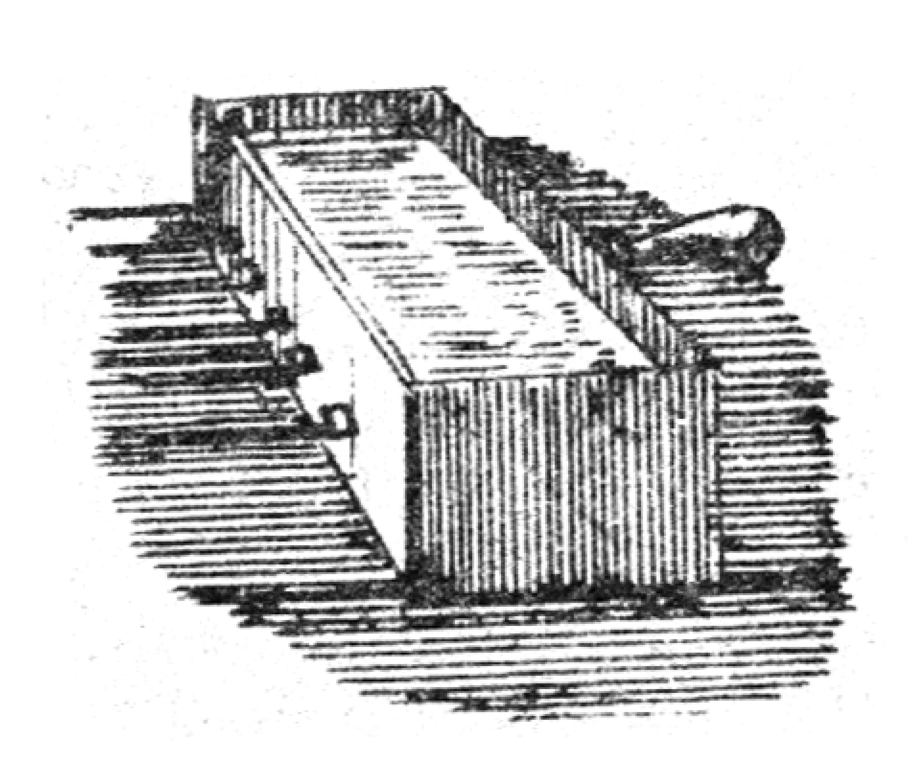
(الفصل السابع في توصيل الجوامد والسوائل والغازات للحرارة وفيه مباحث)

(المبحث الاوّل في توصيل الجوامد للحرارة)

قابلية التوصيل هي خاصية للاجسام تنقل بها الحرارة بسهولة كثيرة أو قليلة في باطن كتلها ويحصل هذا السريان بحركة باطنية واصلة من جزء الى آخر

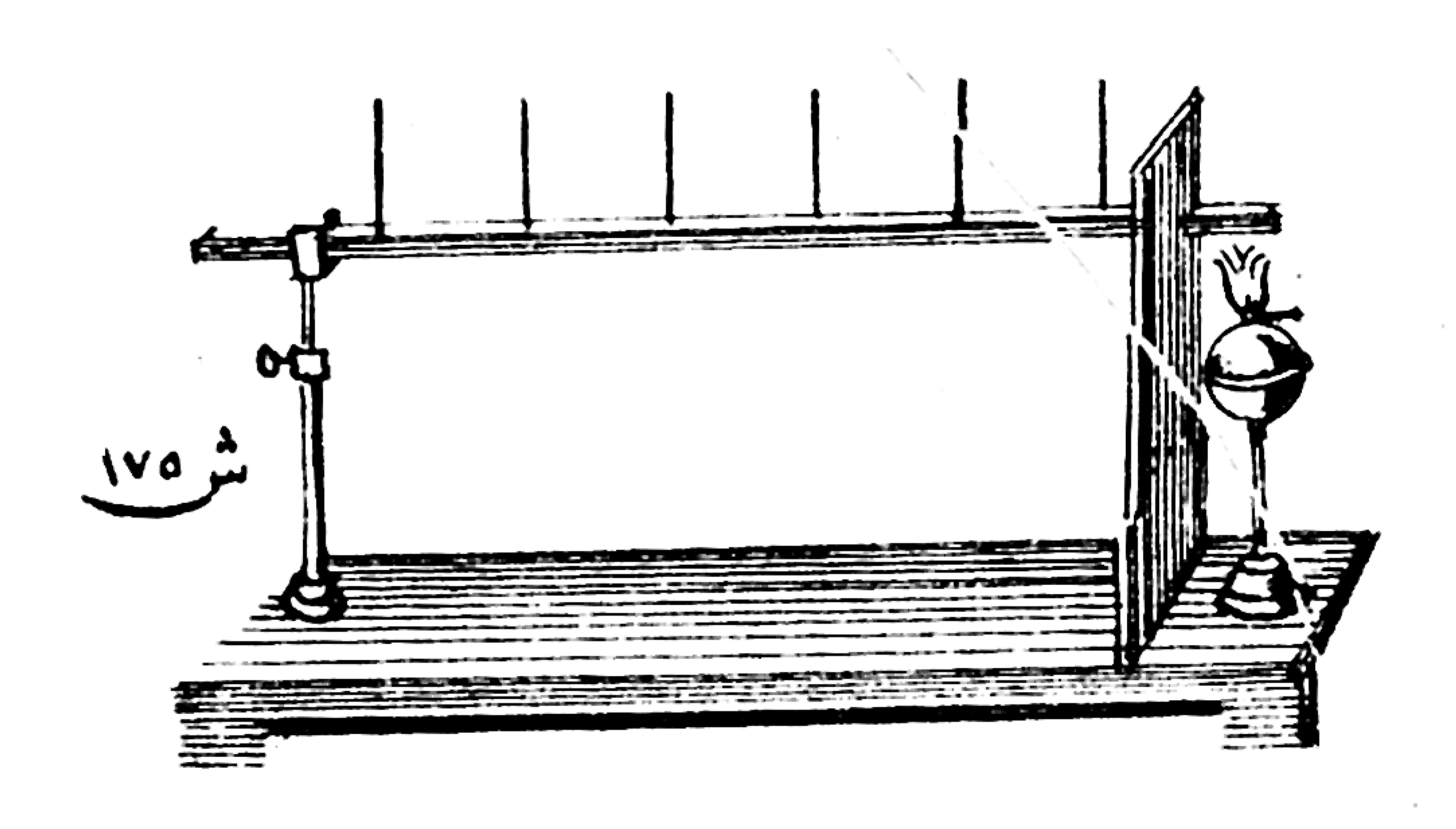
وجميع الاجسام لا توصل الحرارة بالسوية فالاجسام التي تنقل الحرارة بسهولة تسمى موصلة جيدة وذلك كالمعادن بالخصوص والاجسام التي تقاوم سريان الحرارة كثيرا أو قليلا تسمى رديئة التوصيل وذلك كالزجاج والراتنج والخشب وبالخصوص السوائل والغازات

ولاجل مقابلة قوة توصيل الاجسام الصلبة ببعضها صنع انجانهوز الطبيب الهولاندى جهازا صغيرا سمى باسمه كما في شكل ١٧٤


ش ١٧٤

وهو صندوق من التنك مثبت فيه بواسطة فتحات وسدائد قضبان من أجسام مختلفة مثل الحديد والنحاس والخشب والزجاج وتلك القضبان نافذة بعض ميليمترات في باطن الصندوق ومغطاة بالشمع الاصفر الذى يسيح في ٦١ درجة + فتى ملئ الصندوق بالماء المغلى يشاهد أنّ الشمع الذى على القضبان المعدنية يأخذ حالا في السيحان على أبعاد مختلفة قلة وكثرة على حسب تفاوتها في التوصيل بخلاف القضبان الاخر فلا يشاهد عليها أثر سيحان الشمع وتكون قوة التوصيل أعظم كلما كان الجزء السائح عليه الشمع أكثر اتساعا

وقد قابل ديسبريتز قوة توصيل الجوامد للحرارة بواسطة الجهاز الموضح في شكل ١٧٥



وهو قضيب منشوري فيه حفر صغيرة ملآ نة بالزيبق ومغمور في كل حفرة ترموه تر وبعد كل حفرة عن الاخرى واحد ديسيمتر ففي عرض هذا القضيب من أحد طرفيه لينبوع حرارة ثابت يشاهد أن الترمومترات تصعد على التوالى بالابتداء من الينبوع ثم تقف على درجات ثابتة لكنها متنازلة من ترمومتر الى الذي يليه وبهذه الكيفية حقق ديسبيرتز القانون الآتى المنسوب الى لامبيرت من براين وهو أن الابعاد عن الينبوع تتزايد بمتوالية عددية وأن الحرارة الزائدة عن حرارة الهواء تتناقص بمتوالية هندسية

ولا يتحقق هذا القانون الا في المعادن الجيدة التوصيل كالذهب والبلاتين والفضة والنحاس وأما في مثل الحديد والخارصين والرصاص والقصدير فلا يكون الا تقريبيا ولا يوافق الاجسام الغير معدنية (أى كلا شئ فيها) كالرخام والصينى وغيرهما وقد قدر ديسبيرتز قوة توصيل الذهب ١٠٠٠ ونسب غيره له فوجد أن قوة توصيل

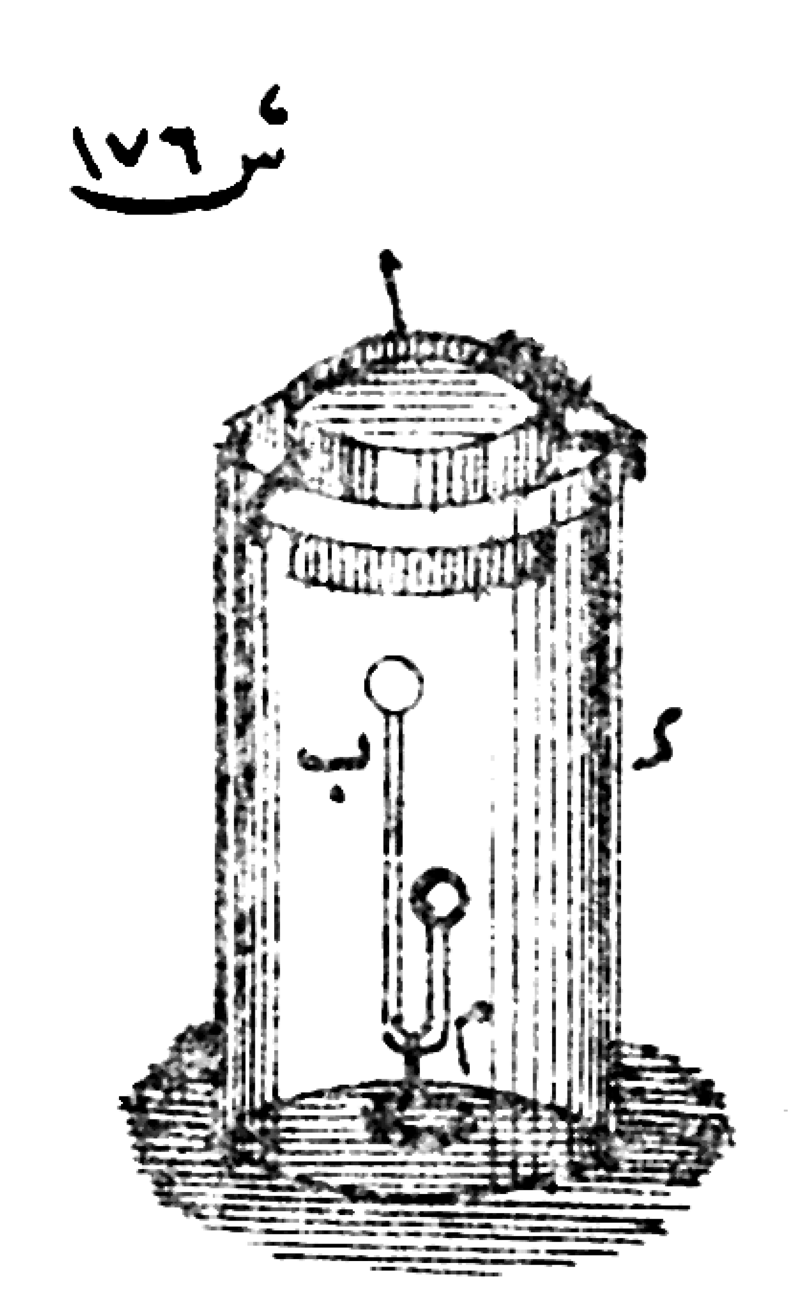
البلاتين	٩٨١	القصدير	٣٠٤
الفضة	٩٧٣	الرصاص	١٧٩
النحاس	٨٩٧	الرخام	٠٢٣
الحديد	٣٧٤	الصينى	٠١٢
الخارصين	٣٦٣	طين الآجر	٠١١

والاجسام

والاجسام العضوية رديئة التوصيل للحرارة أما الاخشاب فقد بين لاريف فى جذوا أن توصيلها للحرارة يكون فى اتجاه اليافها أكثر من قوة التوصيل بالعرض وأن الاخشاب الاكثر كثافة أكثر توصيلا وأن النخالة والتبن والصوف والقطن موصلات رديئة جدا للحرارة

(المبحث الثانى فى توصيل السوائل للحرارة)

توصيل السوائل للحرارة ضعيف جدا ويمكن اثباته بالتجربة الآتية وهى أن يوضع فى اناء أسطوانى من الزجاج ء شكل ١٧٦ ترمومتر صغير ب متكون من كرتين من الزجاج منضمتين بانبوبة منحنية م فيها علامة قليلة من سائل ملون فيملأ اناء ء بماء فى الدرجة الاعتيادية ويوضع فى هذا الماء اناء من تنك ا ويصب فيه الماء المغلى أو الزيت المسخن الى ٢٠٠ أو ٣٠٠ درجة فيشاهد حينئذ أن كرة الترمومتر الاكثر قربا من قاع اناء ا لا تسخن الا قليلا جدا ولا تنتقل العلامة م الا مقدارا قليل الاحساس ومن ذلك يستنتج ضعف توصيل الماء للحرارة والسوائل الاخر تعطى نفس النتيجة



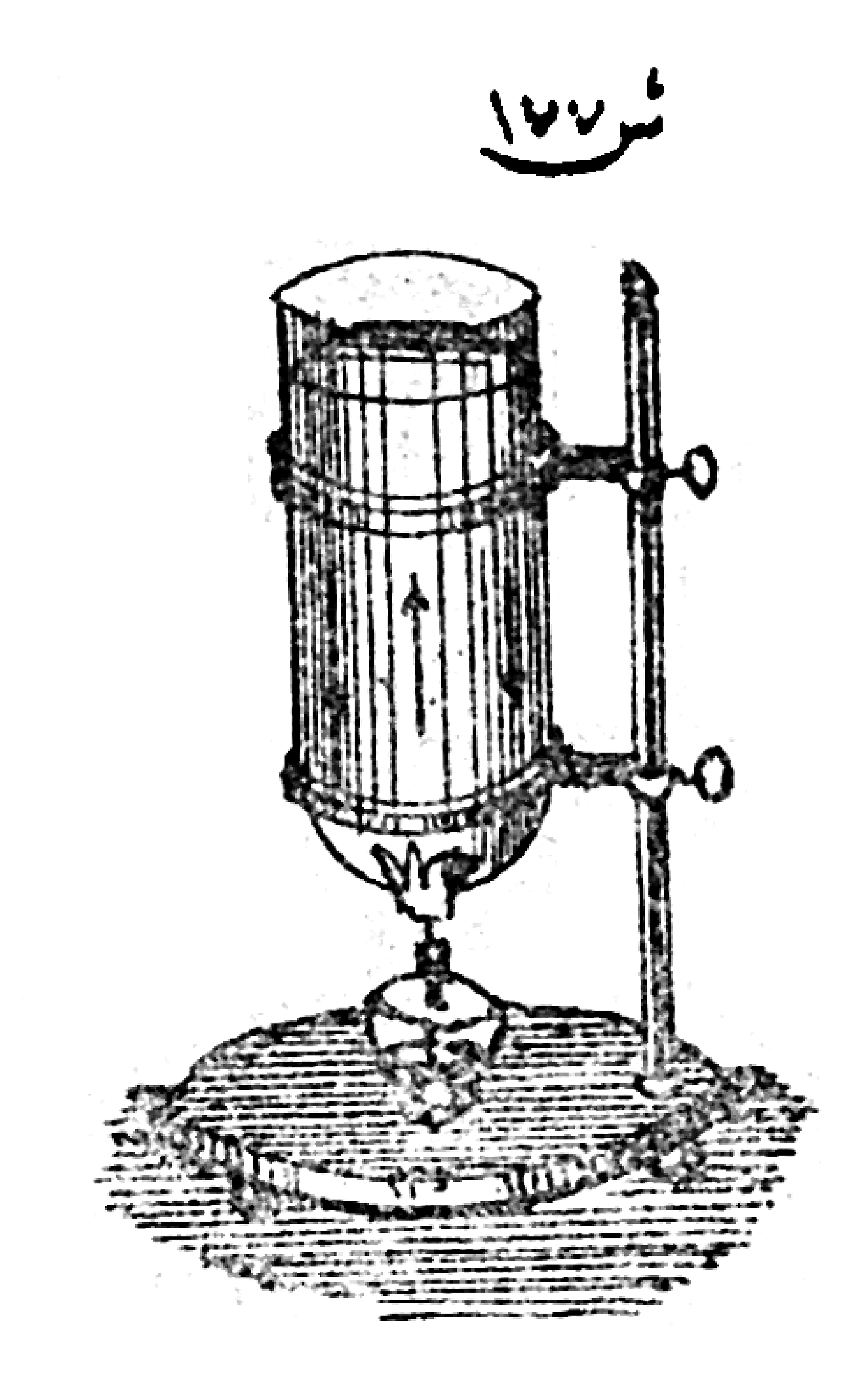
وبواسطة جهاز مشابه للسابق ارتفاعه متر ونصف وحفظ ماء اناء ا فى درجة حرارة ثابتة وتنظيم ١٢ ترمومترا أحدها تحت الآخر فى جميع ارتفاع اناء ء وجد ديسبيرتز أن الحرارة تسرى فى السوائل على حسب قانون سريانها فى القضبان المعدنية غير أن قابلية التوصيل تكون ضعيفة جدا

(كيفية تسخين السوائل) متى سخنت السوائل من جزئها السفلى ينتج عن ضعف توصيلها أن سخونتها تحصل بالتيارات الصاعدة والنازلة التى تنتظم فى كتلها وتفسير هذه التيارات هو أنه بتمدد الطبقات السفلى تصير أقل كثافة فتصعد وتعوضها الطبقات العليا الاكثر برودة وكثافة وتصير هذه التيارات مشاهدة بالبصر اذا ألقى فى الماء نشارة الخشب فانها تصعد وتنزل معه كما فى شكل ١٧٧

(المبحث الثالث فى توصيل الغازات للحرارة)

لم يمكن تقدير توصيل الغازات للحرارة بسبب عظم قوة تشععها وكثرة تحرك أجزائها لكن اذا تعطلت حركتها ظهر توصيلها للحرارة كلا شئ تقريبا وفى الواقع أن جميع الاجسام التى يبقى الهواء مستقرا بين خيوطها تقاوم انتشار الحرارة مقاومة عظيمة وذلك كالتبن والقش والريش والفراوى ومتى سخنت كتلة غازية فان تسخينها يكون بالخصوص بملامستها لجسم مسخن وبالتيارات الصاعدة الحادثة عن التمدد كما فى السوائل

شكل ١٧٧



(المبحث الرابع فى استعمال قابلية التوصيل)

اختلاف توصيل الاجسام للحرارة أوجد استعمالات عديدة فاذا أريد مثلا حفظ سائل حار زمنا طويلا يوضع فى اناء مزدوج الغلاف وتملأ المسافة بين الغلافين بمادة غير موصلة للحرارة مثل نشارة الخشب أو الزجاج المدقوق أو الفحم كذلك أو التبن ونستعمل نفس الواسطة لمنع تشرب الجسم للحرارة وحينئذ فلاجل حفظ الجليد فى الفصل الحار يغلف بالتبن أو يغطى بالصوف

وفى المساكن اذا كان الرخام أو البلاط أو الزجاج يظهر لنا أنه أكثر برودة من الخشب فذاك لكونه أجود توصيلا للحرارة من الخشب والاحساس بالحرارة أو البرودة التى نحس بها عند ملامسة بعض الاجسام مع كون حرارتها واحدة ينسب لقابلية التوصيل فاذا كانت حرارتها أقل ارتفاعا من حرارتنا ظهر لنا أنها أكثر برودة عما تكون بسبب الحرارة التى ترفعها منا بالنظر لقابلية توصيلها وهذا ما يحدثه الرخام واذا كانت بالعكس أى حرارتها أكثر من حرارة جسمنا ظهر لنا أنها أكثر حرارة عما تكون بسبب الحرارة التى تتركها لنا من نقط كتلها المختلفة وهذه هى الظاهرة التى يظهرها لنا قضيب من الحديد معرض للشمس

*(الفصل

(الفصل الثامن فى تشعع وانعكاس وتشرب وابراز الحرارة وفيه مباحث)

(المبحث الاول فى تشعع الحرارة)

متى وضع جسم فى محل مغلق حرارته أكثر ارتفاعا أو انخفاضا من حرارة الجسم يشاهد ارتفاع حرارة الجسم أو انخفاضها بالتدريج الى أن تصل لحرارة المحل أى الى أن يتعادل الجسم مع المحل فى الحرارة ويستنتج من ذلك أن الجسم اكتسب كمية من حرارة الاجسام المجاورة له أو ترك لها كمية من حرارته

وحينئذ فالحرارة تسرى من جسم الى آخر فى وسط المسافة كسريان الضوء وسريان الحرارة هذا الذى يحصل فى جميع المسافات وفى جميع الاتجاهات يسمى بالتشعع وعكس التشعع أعنى نفوذ الحرارة المتشععة فى الاجسام يسمى تشربا وبالجملة يسمى شعاعا حراريا كل خط مستقيم تسرى الحرارة على حسبه وحزمة حرارية اجتماع الاشعة فاذا كانت هذه الاشعة منفصلا بعضها عن البعض الآخر كانت الحزمة متفرقة وان كانت متوازية يقال للاشعة متوازية

ولا ينبغى أن يظن أنه لا يبرز الحرارة الا الاجسام المسماة عادة بالاجسام المسخنة وأن الاجسام الباردة هى التى تتشرب الحرارة بل جميع الاجسام سواء كانت ساخنة أو باردة تبرز وتتشرب الحرارة انما بكميات مختلفة

والتشعع فى نظرية تحرك الحرارة هو اتصال الحركة الاهتزازية لجزيئات المادة الى الاتير ومتى برد جسم فهذا لكون جزيئاته فقدت جزأ من حركتها التى تركتها للاتير ومتى تولدت موجات الاتير صدمت جزيئات الاجسام التى تقابلها فى سيرها وسخنتها بحيث تحدث بالمعاوضة المستمرة للحركة جميع ظواهر تسخين وتبريد الاجسام

وفى دراسة الحرارة التشععية تميز الحرارة الى مظلمة ومضيئة فالاولى هى الحرارة البارزة من الاجسام الغير مضيئة كاناء ملآن بماء مسخن لدرجة ١٠٠ والثانية هى الحرارة البارزة من الاجسام المضيئة كالشمس وكرة سخنت للدرجة الحمراء وسنشاهد فى الاسباب المنوعة لقوة الانعكاس والتشرب والابراز أن الحرارة المظلمة والمضيئة يختلفان فى بعض الاوصاف

(المبحث الثانى فى قوانين التشعع)

تشعع الحرارة يظهر الثلاث قوانين الآتية الاول ان التشعع يحصل فى جميع الجهات حول الاجسام وفى الواقع اذا وضع الترمومتر فى أوضاع مختلفة حول جسم مسخن دل

فى جميع الاوضاع على ارتفاع الحرارة الثانى أن التشعع يكون على خط مستقيم فى الوسط المتماثل لانه اذا وضع حائل على الخط المستقيم الواصل من ينبوع الحرارة الى الترمومتر انقطع تأثير الترمومتر من الينبوع لكن بالانتقال من وسط الى وسط آخر كمن الهواء الى الزجاج تزوغ الاشعة الحرارية كزوغان الاشعة الضوئية وهذه الظاهرة تسمى بالانكسار وقوانينها كقوانين انكسار الضوء كما سيأتى الثالث أن الحرارة تسرى فى الفراغ وقد قيل ابتداء بضرورة وجود الوسط القابل للوزن لتشعع الحرارة والذى يثبت سريان الحرارة المضيئة فى الفراغ سريان حرارة الشمس الآتية الينا من وسط المسافة الكوكبية الخالية عن أدنى مادة قابلة للوزن وأما سريان الحرارة المظلمة فى الفراغ فيثبت بالتجربة الآتية المنسوبة الى رونفور وهى أن يلحم فى قاع دورق من زجاج سعته نصف ليتر تقريبا ترمومتر مستودعه شاغل مركز الدورق كما فى شكل ١٧٨

ثم يلحم فى عنق الدورق أنبوبة بارومترية طويلة ويملأ الدورق والانبوبة بالزئبق الجاف ويقلب الجهاز ويغمر طرف الانبوبة المفتوح فى طست ملآن بالزئبق كما فى تجربة تروشيلى بالضبط فينخفض الزئبق الى الارتفاع المتوسط وهو ٧٦ , ٠ مترا ويحصل الفراغ فى الدورق وفى جزء من الانبوبة ثم تسخن الانبوبة حينئذ بالمصباح من أعلى استواء الزئبق فيها الى أن يسيح الزجاج فتنضم جدران الانبوبة بالضغط الخارجى وينسد الدورق سدا محكما ويصير الدورق خاليا بالكلية عن الهواء فبمجرد تعريضه لينبوع حرارى بغمره فى ماء مسخن مثلا يشاهد ارتفاع الترمومتر فى الحال وهذا يثبت سريان الحرارة المظلمة فى الفراغ ولا يقال حصل ارتفاع الحرارة من جدر الدورق وساق الترمومتر لان الزجاج موصل ردىء للحرارة

وأما سرعة سريان الحرارة فلم تتعين والمعلوم أنها تختلف قليلا فقط عن سرعة سريان الضوء اذا لم تكن مساوية لها بالضبط لان ضوء الشمس والاضواء الصناعية تكون مصاحبة دائما الاشعة حرارية

(المبحث الثالث فى شدة الحرارة المتشععة والاسباب التى تغيرها)

يؤخذ لشدة الحرارة المتشععة كمية الحرارة المستقبلة على وحدة السطوح فى وحدة الزمن والاسباب المنوعة لشدة الحرارة ثلاثة البعد من الينبوع الحرارى وميل الاشعة الحرارية بالنسبة للسطح المبرز لها وميلها بالنسبة للسطح المستقبل لها

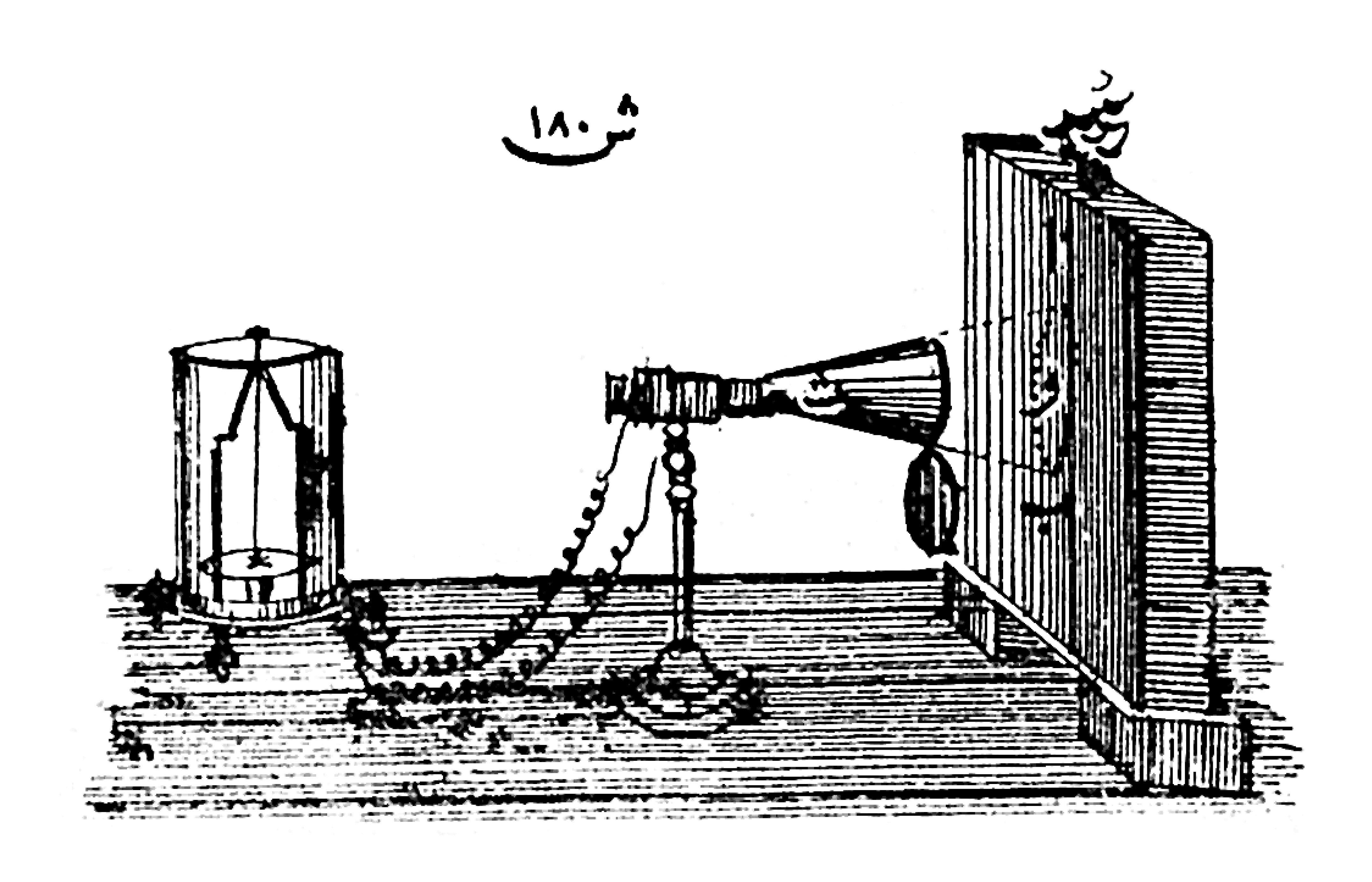
القانون

القانون الاول شدة الحرارة المتشععة تكون على حسب عكس مربع البعد ويمكن اثبات هذا القانون بالتعقل وبالتجربة وفى الواقع لتكن كرة مجوفة ا ب شكل ١٧٩ ذات نصف قطر مّا وفى مركزها ينبوع حرارى ثابت ث فكل وحدة من سطح الجدار الداخلى تقبل كمية محدودة من الحرارة فاذا فرض أن نصف قطر الكرة كبر مرتين وصار مقداره ث ف فان سطحها يكبر أربع مرات بمقتضى النظرية الهندسية المعلومة

ش ١٧٩

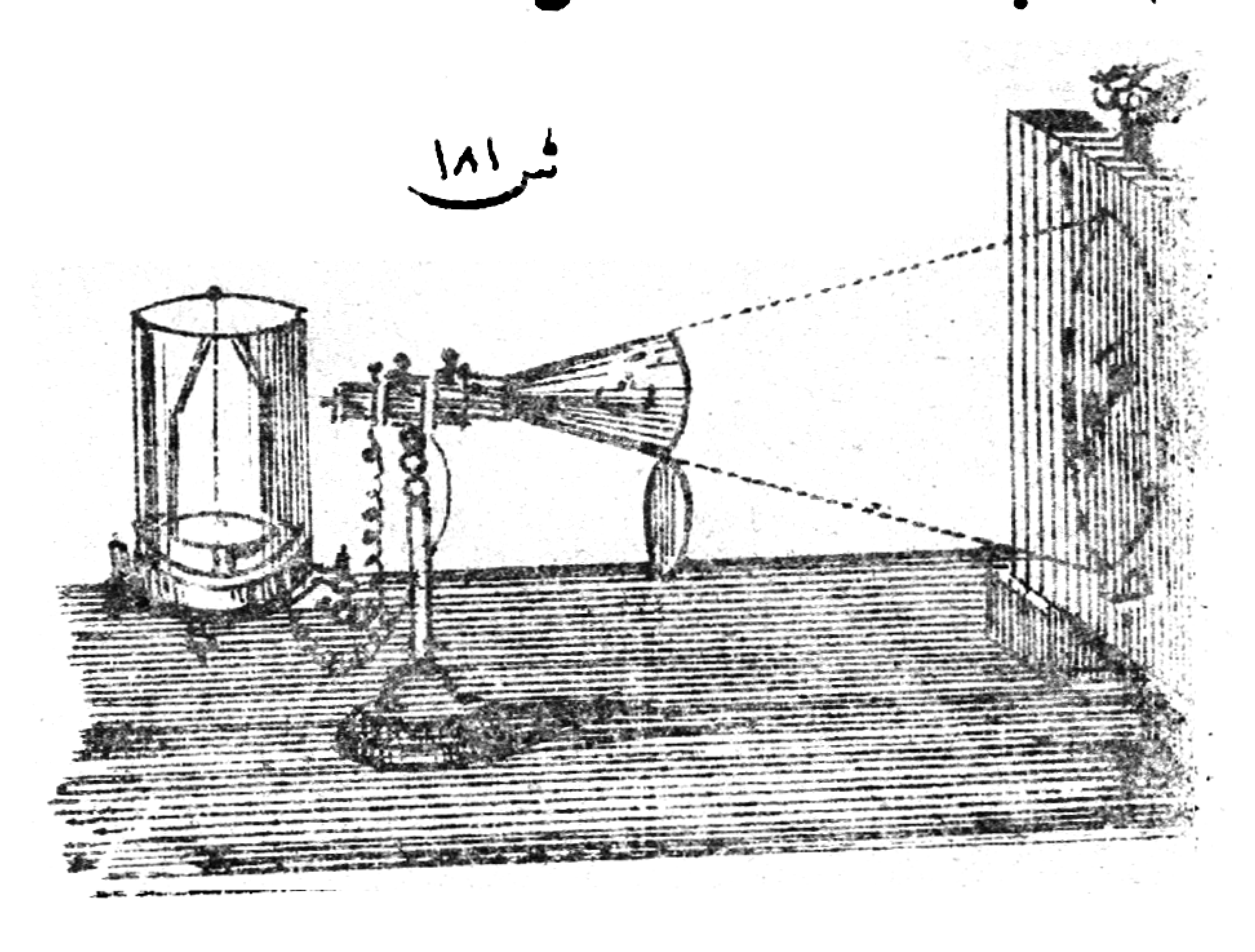
ش ١٧٨

ويحتوى الجدار الداخلى حينئذ على وحدات السطوح أكبر بأربع مرات وحيث ان كمية الحرارة المنبعثة من المركز باقية واحدة فكل وحدة تقبل منها كمية أقل بالضرورة أربع مرات ولاجل اثبات هذا القانون بالتجربة يؤخذ صندوق من التنك ملآن بالماء المسخن ومغطى وجهه المقدم بالهباب كما فى شكل ١٨٠



ش ١٨٠

ثم يوضع أمام هذا الوجه الجهاز المسمى بالترمومتر الحرارى الكهربائى المنسوب الى ميلونى المتقدم فى المبحث الرابع عشر من الباب السادس ويكون العمود متصلا بعاكسه المخروطى ويكون الجدار الباطنى لهذا العاكس مغطى بالهباب لمنع كل تشعع منحرف فاذا كان وجه العمود موضوعا أولا فى بعد ث و الذى هو ٢٠ سنتيمترا فان ابرة الجلوانومتر تزوغ وتقف على درجة ٨٠ مثلا واذا أخر العمود الى بعد ثَ وَ الذى هو ضعف بعد ث و كما فى شكل ١٨١



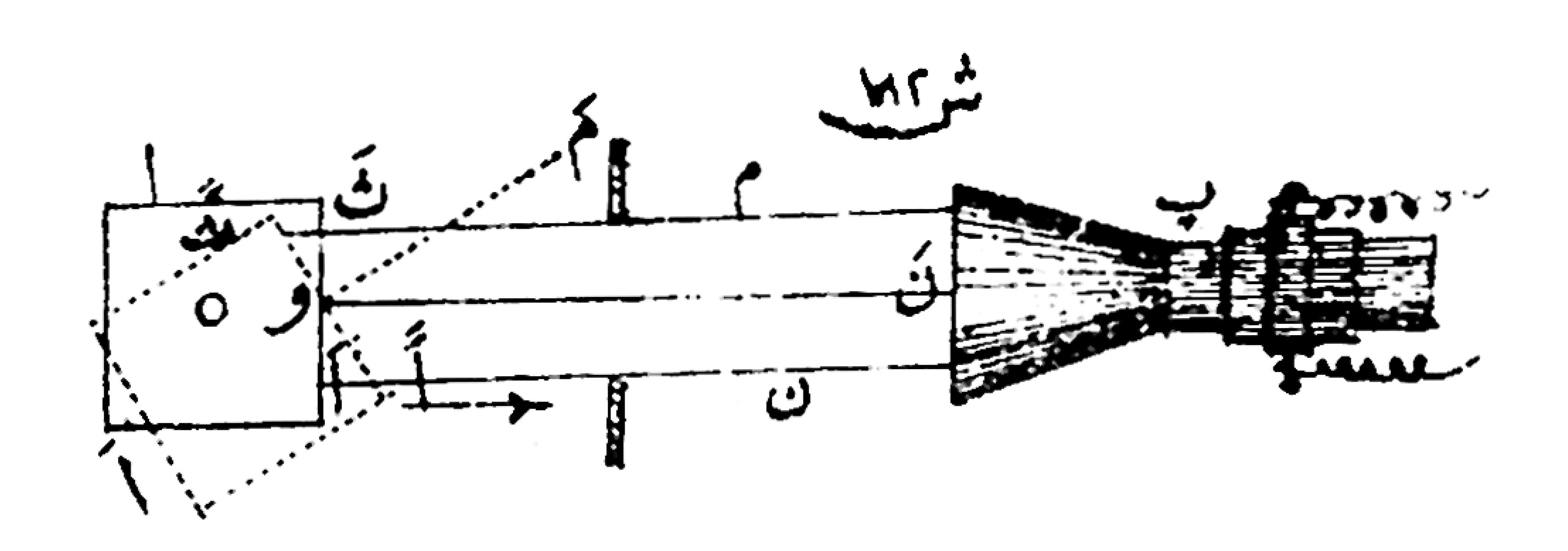
حفظ الجلوانومتر نفس الزوغان ٨٠ درجة وهذا يدل على أن العمود يقبل دائما كمية واحدة من الحرارة ويكون كذلك أيضا اذا أخر الى بعد أكثر بثلاث مرات أو أربعة وهذه النتيجة تظهر ابتداء أنها مخالفة للقانون المراد اثباته لكنها تثبته وفى الواقع أن العمود فى الوضع الاول لا يقبل الحرارة الا من الجزء المستدير ا ب من جدار الصندوق بخلافه فى الوضع الثانى فان الجزء المستدير اَ بَ هو الذى يرسل الاشعة اليه

ويكون مخروطا اَ بَ ثَ و ا ب ث متشابهين وارتفاع الاول ضعف ارتفاع الثانى وقطر اَ بَ ضعف قطر ا ب وبالتبعية سطح اَ بَ قدر سطح ا ب أربع مرات لانه معلوم أن سطح الدائرة متناسب مع مربع شعاعها وحينئذ فحيث ان السطح

السطح المشع للصندوق يزداد كمربع البعد والجلوانومتر باق ثابت فيلزم من ذلك أن شدّة الحرارة المستقبل لها العمود تكون على حسب عكس نفس المربع

ومن المهم ملاحظة أن هذا القانون لا يوافق الا الاشعة الحرارية المتفرقة وأما شدّة الاشعة المتوازية فانها تكون واحدة فى جميع الابعاد مالم يحصل تشرب بالاوساط المارّة فيها

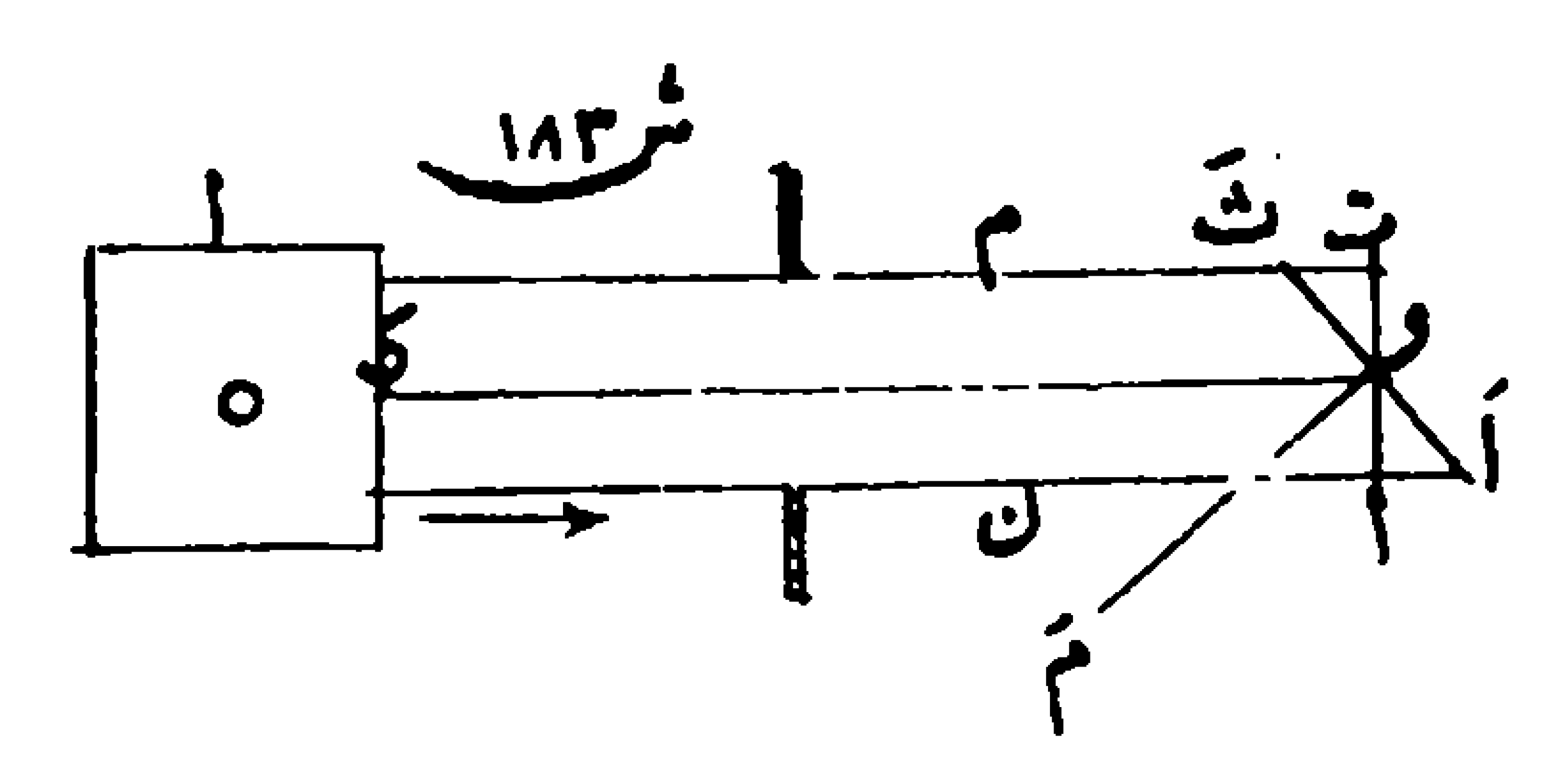
(القانون الثانى) شدّة الاشعة الحرارية البارزة بانحراف من سطح مشع تكون مناسبة لجيب تمام الزاوية التى تكونها تلك الاشعة مع العمود على نفس السطح ولاجل اثبات هذا القانون ليكن ب عمود ميلونى أفقيا ومتصلا مع الجلوانومتر بواسطة سلكين موصلين و ا مكعبا من التنك ملآنا بماء مسخن كما فى شكل ١٨٢



والمكعب كائن أولا فى الوضع ا بحيث يكون جداره المقدّم عموديا على الحزمة المتوازية م ن الساقطة على العمود فان الجلوانومتر يظهر بعض زوغان مثل ٤٥ درجة ويكون التشعع منسوبا حينئذ لجزء اَ ثَ من جدار المكعب فاذا أدير هذا المكعب فى الوضع اَ بحيث يصير جداره المقدّم منحرفا على حزمة م ن يشاهد أن الجلوانومتر يستمر على اظهار ٤٥ درجة ويكون السطح المشع الآن اً ثً أكبر من اَ ثَ واذا رمزنا بحرف ى لشدّة الاشعة العمودية على اَ ثَ وبحرف ىَ لشدّة الاشعة المنحرفة على اً ثً حيث انّ التأثير واحد فى الحالتين كانت الشدّتان ضرورة بنسبة عكسية لسطحى اَ ثَ و اً ثً ويصير حينئذ ىَ × فى سطح اً ثً = ى × سطح اَ ثَ (١)

وحيث ان سطح اَ ثَ مسقط سطح اً ثً فيحصل بمقتضى ماهو مقرر فى حساب المثلثات أن سطح اَ ثَ = سطح اً ثً جتا ا و اً أو سطح اَ ثَ = سطح اً ثً جتا مَ و نَ حيث أن زاويتى مَ و نَ و اَ و اً متساويتان لان أضلاعهما متعامدة وبأخذ قيمة سطح اَ ثَ فى معادلة (١) وحذف المضروب المشترك يصير ىَ = ى جتا مَ و نَ وبهذا يثبت القانون وهذا القانون المعروف بقانون جيب التمام ليس عامّا وفى الواقع قد أثبت بعضهم أنه لا يتحقق الا فى الحاله التى تفقد فيها الاجسام القوة العاكسة مثل هباب الدخان كما سيأتى فى مبحث القوة العاكسة

(القانون الثالث) شدّة الاشعة الحرارية الساقطة بانحراف على سطح تكون مناسبة لجيب تمام الزاوية التى تحدثها الاشعة الساقطة مع العمود على السطح ويثبت هذا القانون بنفس الكيفية المتقدّمة وفى الواقع ليكن ينبوع حرارى مستمرا ا وحزمة متوازية م ن ساقطة عموديا على سطح مستو وليكن ا ث جزء هذا السطح المستقبل الحزمة كما فى شكل ١٨٣



فاذا أميل هذا السطح على حسب اَ ثَ قبل جزء اَ ثَ الاكبر من جزء ا ث نفس كمية الحرارة من حرارة الحزمة م ن لكن حيث انّ هذه الحرارة متوزعة على سطح أكبر فتضعف شدّتها ويصير أيضا ىَ × سطح اَ ثَ = ى × سطح ا ث ويستنتج من ذلك بنفس الحساب المتقدّم ىَ = ى جتا مَ و نَ وبهذا يثبت القانون الثالث

*(المبحث

(المبحث الرابع فى تعادل أى توازن الحرارة الانتقالية)

وضع فرضان على التشعع وفرض فى الاول منهما أنه متى وجد جسمان مختلفا الحرارة حصل التشعع فقط من الجسم الاكثر حرارة جهة الجسم الاكثر برودة ولا يبرز الجسم البارد شيئا جهة الجسم الساخن وتنخفض حرارة الجسم الاكثر حرارة بالتدريج الى أن تساوى حرارة الجسم الآخر وحينئذ ينقطع التشعع واستبدل هذا الفرض بالفرض الآتى المنسوب الى بريووست من جنوا وعلى رأيه فجميع الاجسام مهما كانت حرارتها فانها تبرز حرارة فى جميع الجهات وحينئذ فيوجد فقد أى تبريد للاجسام التى حرارتها أكثر ارتفاعا لان الاشعة التى تبرزها تكون أكثر شدة من الاشعة التى تقبلها وبالعكس يوجد اكتساب حرارة أى ان الاجسام التى حرارتها أقل ارتفاعا تسخن ويأتى زمن فيه تتعادل أى تتوازن حرارة الاجسام لكن توجد أيضا مغاوضة للحرارة بين الاجسام وكل منها يقبل على قدر ما يبرز فقط وهذا هو سبب بقاء الحرارة ثابتة وهذه الحالة هى المسماة بتعادل أى توازن الحرارة الانتقالية أو المتحركة

(المبحث الخامس فى قانون نيتون على التبريد)

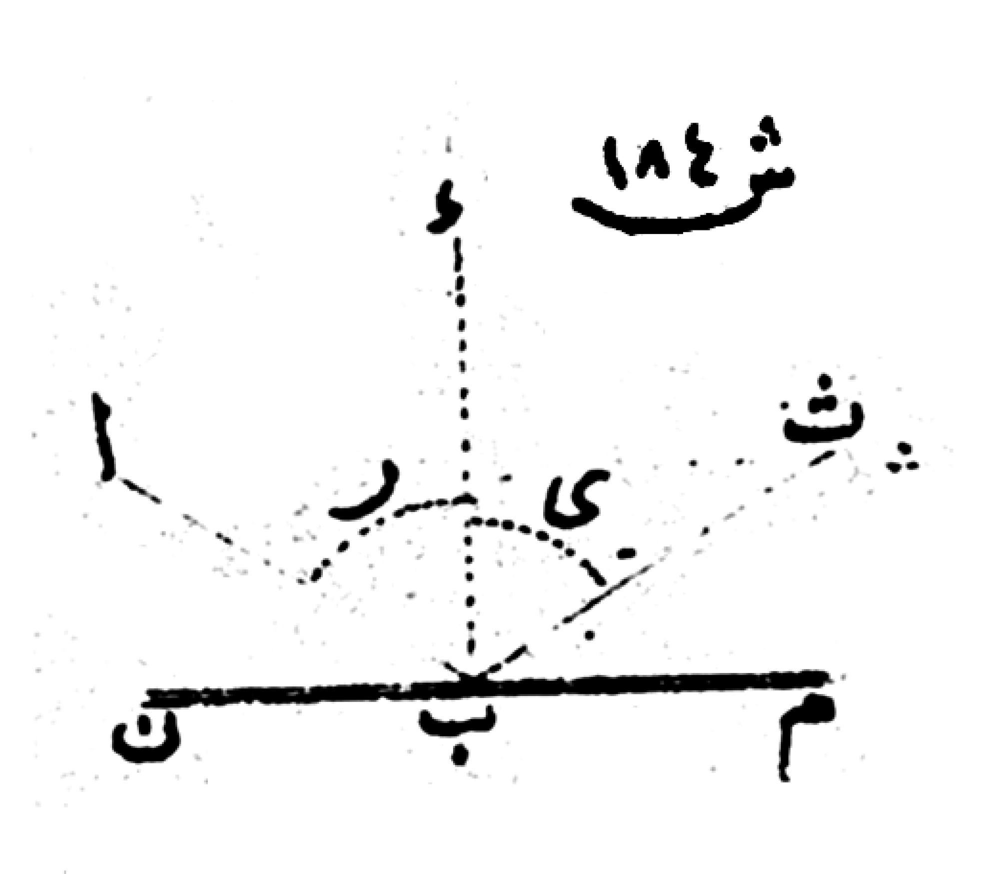
لا يبرد الجسم فى الفراغ أو يسخن الا بالتشعع أو التشرب وأما فى الهواء فيبرد أو يسخن زيادة عن ذلك بملامسته مع الهواء وسرعة التبريد أو التسخين فى الحالتين هى كمية الحرارة المفقودة أو المتشربة فى وحدة الزمن وتكون أكثر كلما كان اختلاف درجة الحرارة عظيما وتكون أعظم فى الغازات مما فى الفراغ وتتغير على حسب طبيعة الغازات فتكون أعظم فى الايدروجين مثلا مما فى الهواء وبالجملة فانها تتعلق أيضا بالقوة الابرازية للجسم الذى يبرد وبزيادة حرارته على حرارة الوسط وبالضغط وقد وضع نيتون القانون الآتى لتبريد وتسخين الاجسام وهو أن كمية الحرارة التى يفقدها الجسم أو يكتسبها فى وحدة الزمن تكون مناسبة للفرق بين حرارته وحرارة الوسط

وذكر كل من دولونغ وبوتيت ان هذا القانون ليس عاما وانه لا ينبغى استعماله الا فى اختلافات الحرارة التى لا تزيد على ٢٠ درجة + وفيما فوق ذلك تكون كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة أكثر مما فى القانون المذكور

(المبحث السادس فى قوانين الانعكاس)

متى سقطت الاشعة الحرارية على سطح جسم انقسمت الى قسمين أحدهما ينفذ فى كتلة الجسم والثانى ينعكس بالسطح كانعكاس كرة مرنة

فاذا عبرنا بحرفى م ن شكل ١٨٤

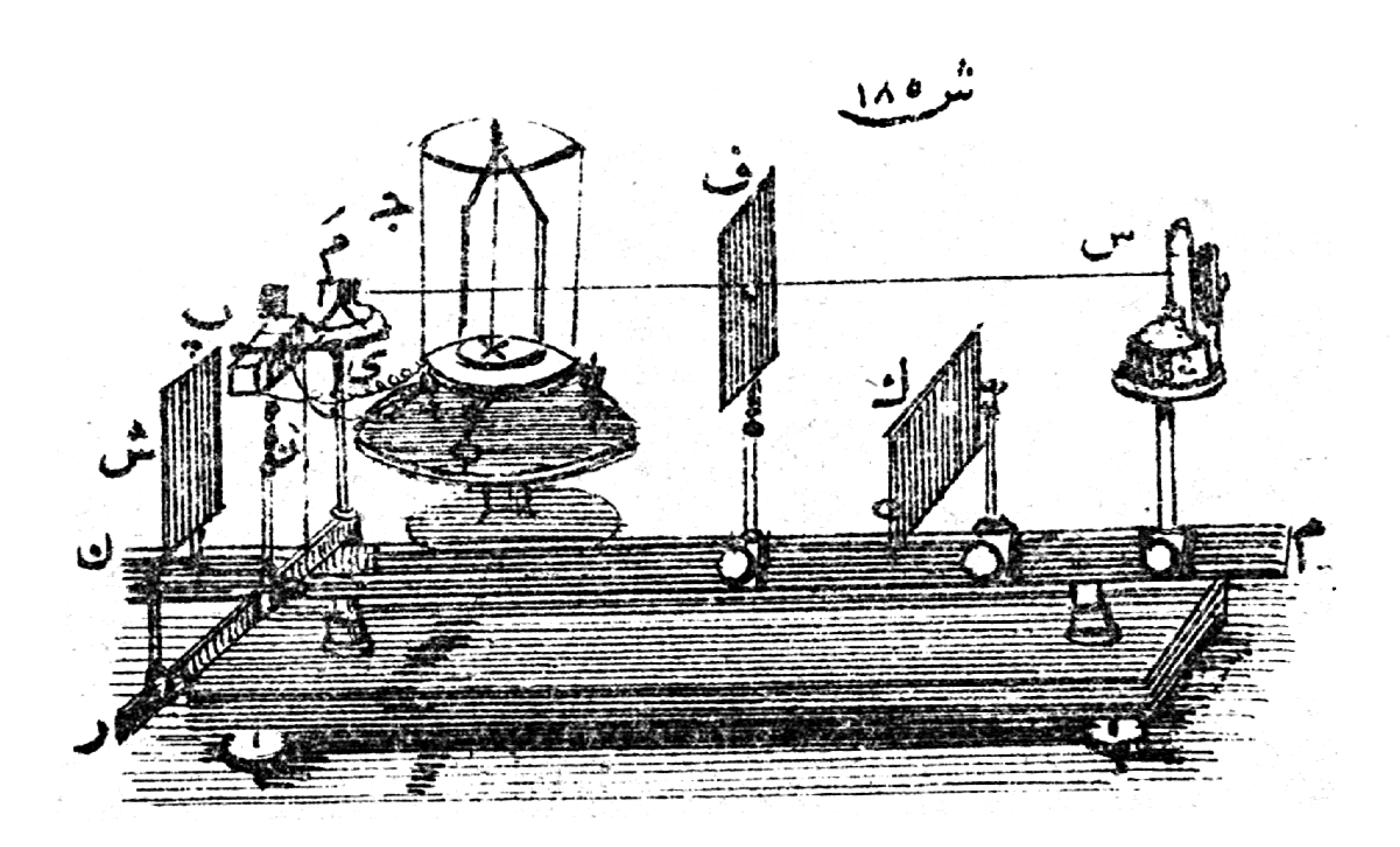


عن سطح مستو عاكس وبحرفى ث ب عن الشعاع الساقط وبحرفى ب ء عن الخط العمودى على السطح وبحرفى ب ا عن الشعاع المنعكس قيل لزاوية ث ب ء زاوية السقوط ولزاوية ء ب ا زاوية الانعكاس

اذا علمت ذلك فانعكاس الحرارة منقاد مثل انعكاس الضوء للقانونين الآتيين الاول ان زاوية الانعكاس تساوى زاوية السقوط الثانى ان الشعاع الساقط والمنعكس يكونان فى مستو واحد عمودى على السطح العاكس

(المبحث السابع فى اثبات قانونى انعكاس الحرارة بالتجربة)

هذان القانونان يثبتان بالتجربة بواسطة جهاز ميلونى المسمى ترمومولتيبليكاتور أو بواسطة المريات المقعرة كما سيأتى وشكل ١٨٥



توضيح كيفية فعل التجربة بجهاز ميلوني وهي ان تثبت قطع مختلفة بواسطة برم ضاغطة على مسطرة أفقية م ن طولها متر ومنقسمة الى مليمترات وفي س ينبوع حراري وهو إما مكعب من نحاس أصفر مملوء بماء درجته ١٠٠ أو سلك من بلاتين مسخن للدرجة البيضاء في لهب المصباح الكؤلي وفي ك حجاب حاجز يمنع الاشعة الحرارية الآتية من الينبوع متى رفع وفي ف حجاب حاجز ثان مثقوب من مركزه تمر من ثقبه حزمة متوازية وفي الطرف الثاني للمسطرة ساق ى حامل لمينا مدرجة صفرها يقابل اتجاه مسطرة م ن وبالتبعية اتجاه حزمة س مَ والمينا مثقوبة من مركزها بثقب يدور فيه محور حامل لمرآة معدنية مستوية مَ وحول ساق ى تتحرك حركة خالصة مسطرة ر المثبت عليها العمود الحراري الكهربائي ب المتصل مع الجلوانومتر ج ومثبت بين العمود والمينا المدرجة على المسطرة ساق نَ منحن من قمته ليبين على المينا المدرجة الانتقالات الزاوية للمسطرة وبالجملة فيحمول على المسطرة حجاب حاجز ش كائن بين الينبوع الحراري والعمود لكي لا يقبل العمود الا الحرارة المنعكسة بالمرآة والحجاب الحاجز المذكور ليس مبينا في الرسم في محله لكي لا يستر العمود

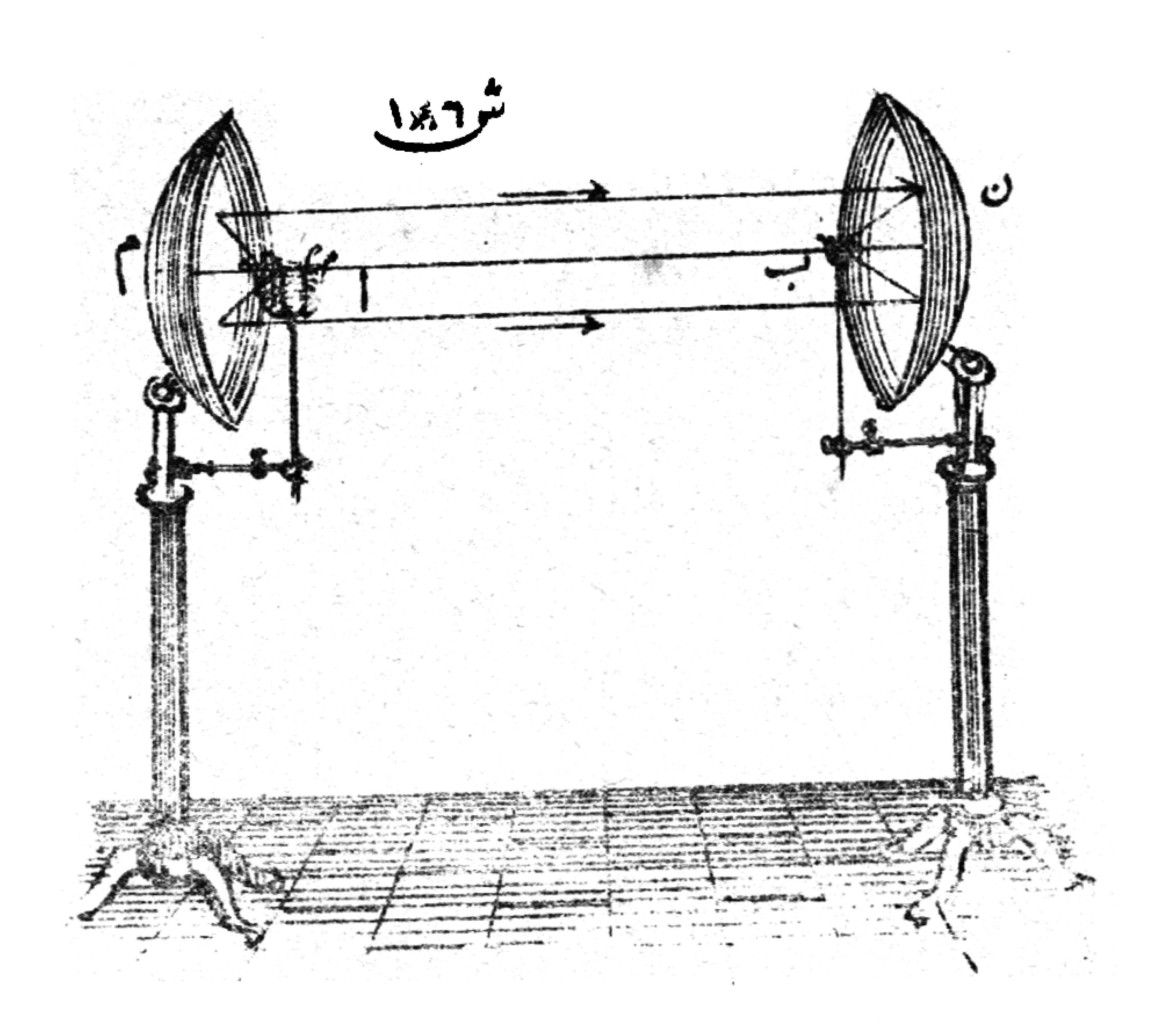
اذا علمت هذه التفاصيل فتفعل التجربة بخفض الحاجز ك أولا فتمر الحزمة الحرارية حالا من فتحة الحاجز ف وتقع على مرآة مَ وتنعكس عليها فاذا لم تكن المسطرة في اتجاه الحزمة المنعكسة فلا تقابل الحزمة مع العمود ويبقى الجلوانومتر ثابتا لكن اذا أديرت المسطرة ببطء فانه يوجد وضع فيه بين الجلوانومتر أعظم زوغان ويحصل ذلك متى استقبل العمود الحزمة الحرارية المنعكسة فاذا عين حينئذ على المينا المدرجة اتجاه الابرة الصغيرة العمودية على المرآة المبينة لخطها العمودي شوهد انها تقسم الزاوية المتكونة بالحزمة الساقطة والمنعكسة الى قسمين متساويين وبهذا يثبت القانون الاول والقانون الثاني مثبت أيضا بنفس التجربة لان قطع الجهاز المختلفة منتظمة بحيث ان الاشعة الساقطة والمنعكسة تكون في سطح أفقي وبناء على ذلك يكون هذا السطح عموديا على السطح العاكس الرأسي

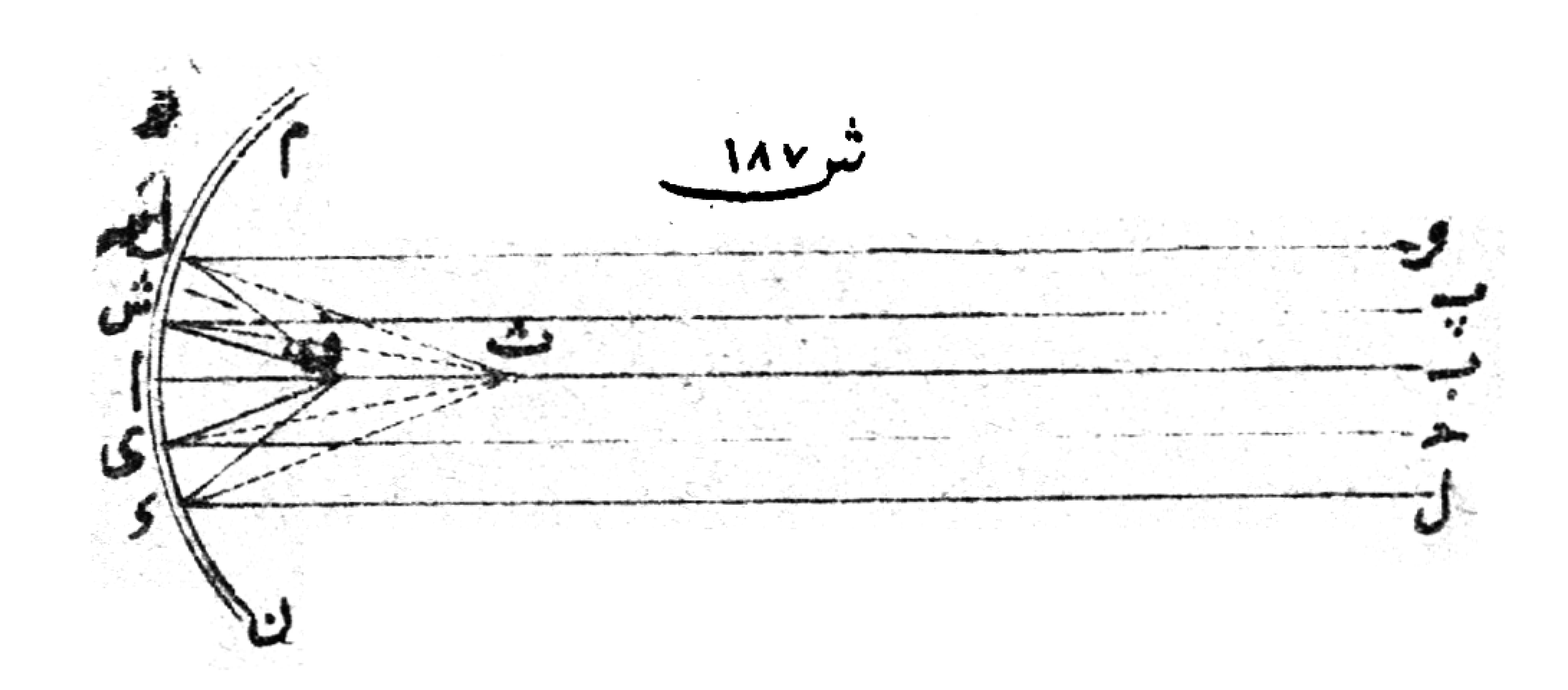
وانعكاس الحرارة المماثل لما ذكر لا يحصل الا في اتجاه واحد وهذا هو الانعكاس المنتظم

وحيث ان جميع الاجسام تعكس الحرارة كثيرا أو قليلا فى جميع الجهات فهذا الانعكاس يسمى الانعكاس الغير المنتظم

(المبحث الثامن فى الانعكاس على المرايات المقعرة)

المرايات المقعرة أو العاكسة هى سطوح كروية أو مكافئية من معدن أو من زجاج تستعمل لجمع الاشعة الضوئية أو الحرارية فى نقطة واحدة ولا نعتبر هنا الا المرايات الكروية وشكل ١٨٦ يوضح اثنين من هذه المرايات وشكل ١٨٧





تعطى قطاعهما الاصلى والمركز ث للكرة المنسوبة اليها المرآة يسمى مركز الانحناء ونقطة ا الكائنة فى وسط العاكس هى مركز الشكل ومستقيم ا ب المتصل بهاتين النقطتين هو المحور الاصلى للمرآة

ولاجل ان نطبق على المرايات الكروية قوانين الانعكاس على السطوح المستوية نعتبر انها متكونة من سطوح مستوية صغيرة جدا ينسب كل منها الى السطح المماس المقابل له وهذا الفرض يسمح لان يستنتج بالهندسة ان الاعمدة على هذه السطوح الصغيرة يجتمع جميعها فى مركز الانحناء

ولنفرض ان على المحور ا ب لمرآة م ن ينبوع حرارى فى بعد كاف بحيث ان الاشعة مثل و ك وه ب ش وغيرهما الخارجة منه يمكن اعتبارها موازية لبعضها فعلى مقتضى الفرض المتقدم وهو كون المرآة متكونة من أصول مستوية صغيرة جدا ينعكس شعاع و ك على الاصل ك بالضبط كانعكاسه على المرآة المستوية أعنى حيث ان ث ك هو العمود على هذا الاصل فيأخذ الشعاع اتجاه ك ف بحيث تكون زاوية ث ك ف مساوية لزاوية ث ك و وبهذه الكيفية تنعكس أشعة ب ش ه ح ى وغيرهما فجميع هذه الاشعة تجتمع بعد انعكاسها فى نقطة ف الموضوعة فى وسط ا ث كما سنوضح ذلك فى باب الضوء ويوجد اجتماع الاشعة الحرارية حينئذ فى ف وبناء على ذلك يوجد فيها ارتفاع درجة الحرارة أعظم مما فى جميع النقط الاخر ومن ذلك ينتج اسم البورة الذى سميت به هذه النقطة ومسافة ف ا من البورة الى المرآة تسمى المسافة البورية

وفى الشكل المذكور تنتشر الحرارة على حسب خطوط ك ف ه ل ى ف فى اتجاه السهم وبالعكس اذا كان الجسم الساخن موضوعا فى ف انتشرت الحرارة على حسب خطوط ف ك و ه ف ى ل وتصير الاشعة الخارجة من البورة بعد الانعكاس موازية لبعضها وينتج من ذلك ان الحرارة المنتشرة تميل حينئذ لحفظ شدة واحدة

(المبحث التاسع فى تحقيق قوانين الانعكاس بالمرايات المقعرة)

التجربة الآتية التى فعلت أول مرة فى جنوه بواسطة بيكتى و سوسور تثبت وجود البورة وتثبت قوانين انعكاس الحرارة فى زمن واحد

وهى ان ينظم عاكسان م ن كما فى شكل ١٨٦ المتقدم بحيث ينطبق محور

أحدهما على محور الآخر وتجعل المسافة بينهما خمسة أمتار أو ستة ثم يوضع الجمر المتقد في بورة أحدهما في قلنسوة من سلك حديد ا وفي بورة الآخر جسم قابل للالتهاب ب كالصوفان مثلا فالاشعة الخارجة من الينبوع ا تنعكس أول مرة على مرآة م وتأخذ بفعل الانعكاس اتجاها موازيا للمحور كما تقدم ثم تنعكس مرة ثانية على العاكس الثاني وتجتمع في بورة ب والذي يثبت ذلك التهاب قطعة الصوفان الموضوعة في هذه النقطة بخلاف ما اذا كانت موضوعة بعيدا عن البورة من الامام أو الخلف فانها لا تحترق

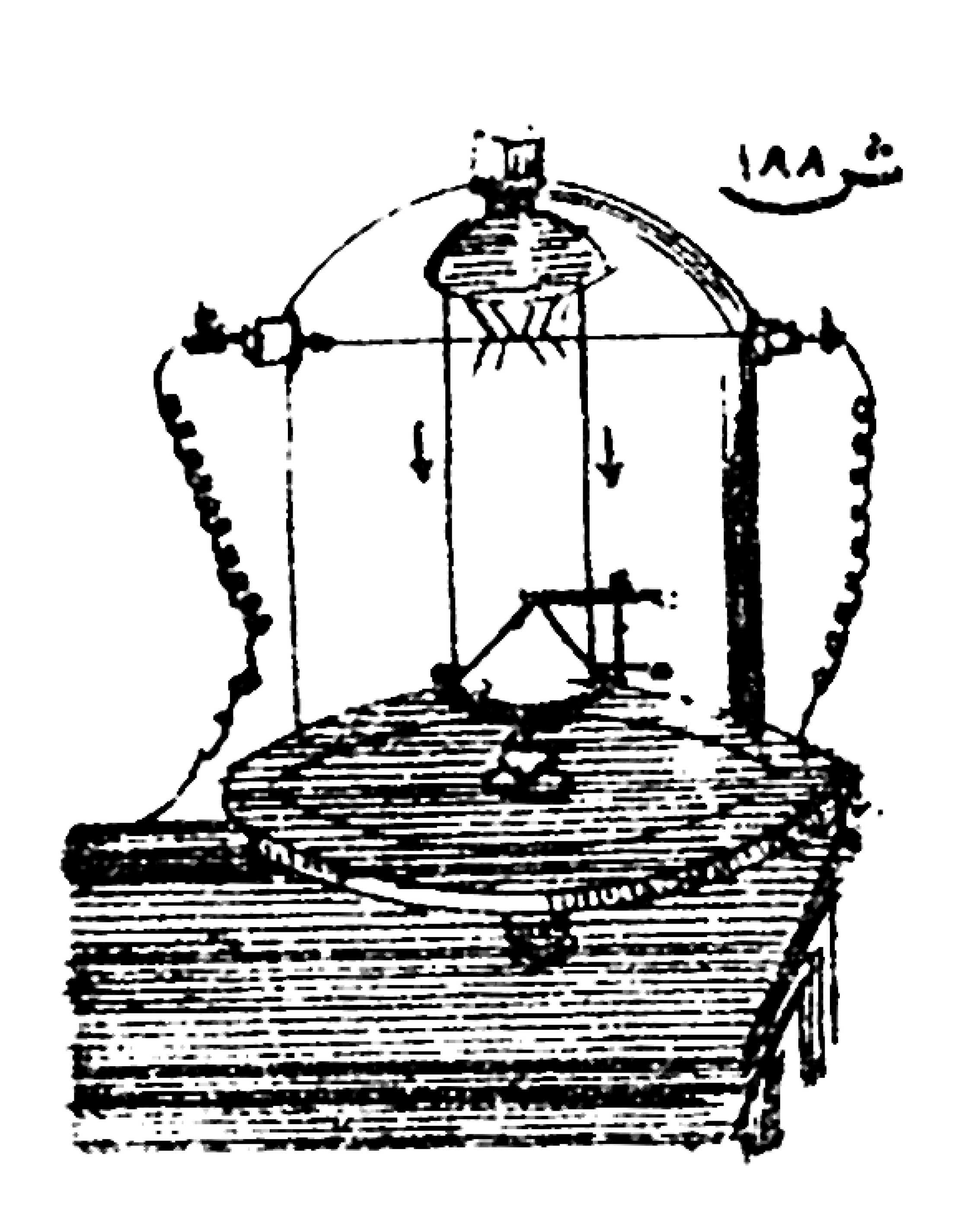
وينتج من التجربة المذكورة ان الحرارة تنعكس على حسب نفس قوانين انعكاس الضوء وفي الواقع اذا وضع شمعة متقدة في بورة ا التي كان فيها الجمر وفي بورة ب حجاب حاجز صغير من زجاج غير مصقول أو من الورق شوهد على هذا الحجاب بورة ضوئية في نفس النقطة التي احترق فيها الصوفان بالضبط وحينئذ فقد حصل الانعكاس في الحالتين تبعا لنفس القوانين وحيث انه سيبرهن في باب الضوء على ان زاوية الانعكاس تساوي زاوية السقوط وان الشعاع الساقط والشعاع المنعكس يكونان في مستو واحد عمودي على السطح العاكس فيكون كذلك في الحرارة

(المبحث العاشر في المرايات المحرقة)

المرايات المحرقة هي المرايات المقعرة التي تحصل في بوراتها حرارة شديدة ويحكى ان ارشميدس أحرق سفن الرومانيين امام سيراكوس بواسطة مرايات مشابهة لذلك وركب بوفون مرايات محرقة قوتها اثبتت ان الفعل المنسوب الى ارشميدس ممكن وكانت هذه المرايات المحرقة متكونة من عدد كثير من مرايات مستوية مقصدرة طول الواحدة منها ٢٢ سنتيمتر وعرضها ١٦ سنتيمتر ويمكن تدوير كل منها في أي اتجاه بحيث تأتي الاشعة المنعكسة على كل منها وتجتمع في نقطة واحدة وبواسطة ١٢٨ مرآة مستوية وحرارة الصيف الشديدة حرق بوفون لوحا من خشب مقطرن في بعد ٦٨ مترا

وباستقبال أشعة الشمس على مرآة مقعرة من النحاس الاصفر قطرها متر وشعاع انحنائها متران تحصل في بورتها حرارة شديدة بحيث اذا وضع فيها السلكس أو النحاس أو الفضة أخذ في السيحان بعد بعض دقائق

(المبحث الحادي عشر في الانعكاس في الفراغ)



الحرارة تنعكس فى الفراغ كما تنعكس فى الهواء ولاثبات ذلك تفعل التجربة الآتية المنسوبة الى داڨى وهى أن يوضع تحت ناقوس الآلة المفرغة عاكسان صغيران متواجهان كما فى شكل ١٨٨ فى بورة أحدهما ترمومتر كثير الاحساس وفى بورة الآخر ينبوع من حرارة الكهربائية وهو سلك من البلاتين يجعل مجرا ير و رالتيار الكهربائى فيه فيصعد الترمومتر حالا جملة درجات وينسب ذلك للحرارة المنعكسة لان الترمومتر لا يعطى نفس ارتفاع الحرارة اذا لم يكن فى بورة العاكس الثانى بالضبط

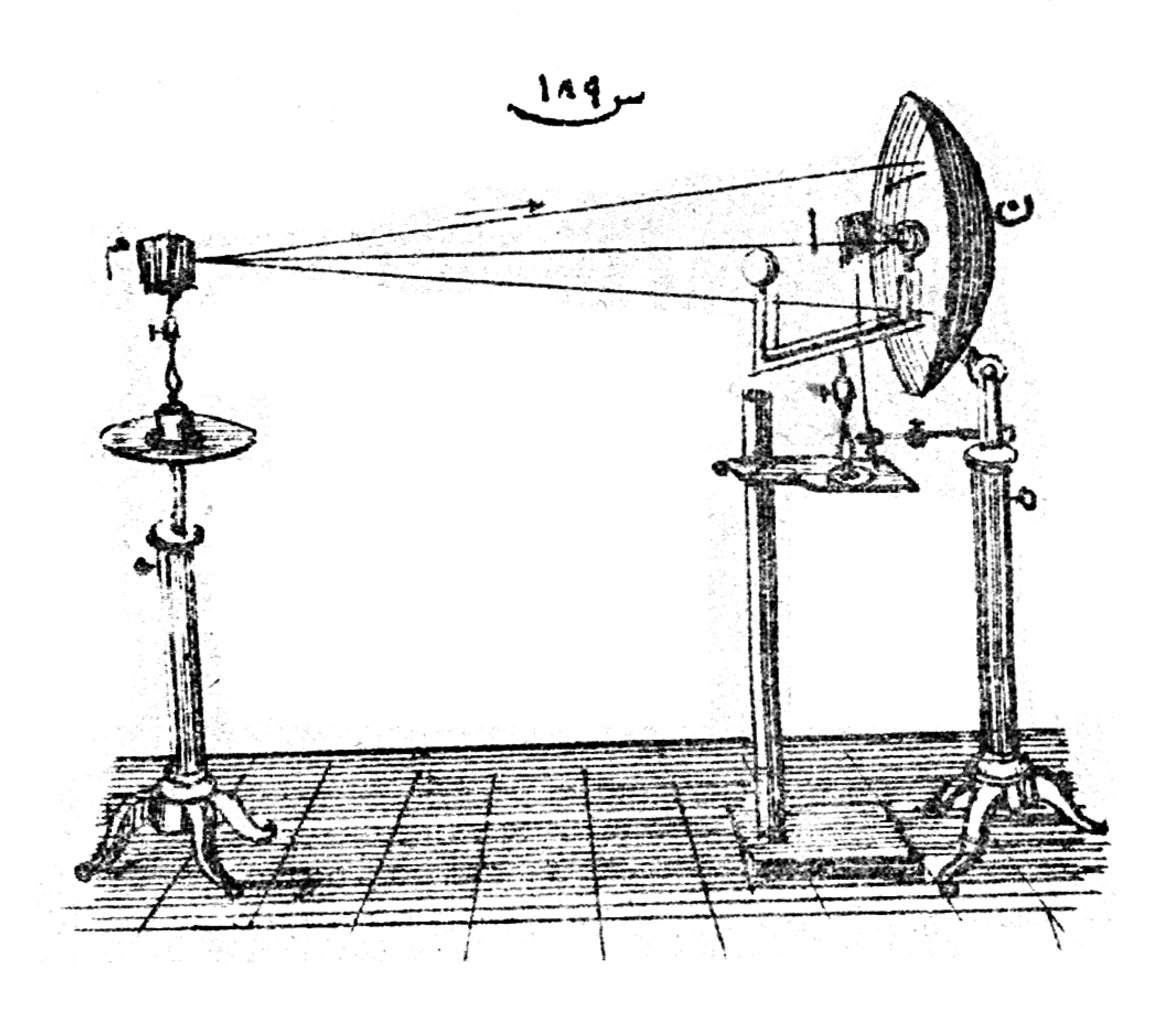
(المبحث الثانى عشر فى انعكاس البرودة الظاهرى أى الصورى)

اذا نظم عاكسان متواجهان كما فى شكل ١٨٦ المتقدم ووضع فى بورة مرآة م قطعة من الجليد أو مخلوط مبرد بدل الجمر وكانت درجة الهواء المحيط ١٢ أو ١٥ درجة مثلا أظهر الترمومتر الاختلافى الموضوع فى بورة المرآة الأخرى انخفاض الحرارة جملة درجات وهذه الظاهرة تظهر أولا انها ناشئة عن تشعع البرودة البارزة من الجليد وانعكاسها على المرآتين لكن يفسر هذا الانعكاس الصورى بمقتضى ما قيل فى مبحث تعادل أى توازن الحرارة الانتقالية التى تميل دائما الى ان تنتظم بين جميع الاجسام وذلك ان الترمومتر من حيث انه أسخن الاجسام التى حوله فتكون شدة الاشعة المنبعثة منه أقوى من شدة الاشعة المنبعثة اليه من الجليد وليس هناك تعادل بين الحرارة المنبعثة منه والمنبعثة اليه فيبرد وهذا هو سبب احساسنا بالبرودة اذا قربنا من أى جسم درجة حرارته أقل من درجة حرارتنا

(المبحث الثالث عشر فى القوة العاكسة)

القوة العاكسة لجسم هى خاصية انعكاسه جزأ قليلا أو كثيرا من الحرارة الساقطة عليه

وتختلف القوة العاكسة من جسم الى آخر ولاجل دراسة هذه القوة على أجسام مختلفة بدون ان تعمل منها جملة عواكس نظم ليلي تجاربه كما يظهره شكل ١٨٩



ش ١٨٩

فينبوع الحرارة هو مكعب م مملوء بماء درجته ١٠٠ ومثبت على محور العاكس ن بين البورة والمرآة لوح ا من الجسم الذي يبحث عن قوته العاكسة وبهذا التنظيم فالاشعة التي تخرج من الينبوع وتنعكس أول مرة على المرآة تقابل لوح ا وتنعكس عليه ثانيا وتتكون بورتها بين اللوح والمرآة في نقطة توضع فيها كرة الترمومتر الاختلافي وحيث ان العاكس والترمومتر باقيان في محلهما وماء المكعب كائن دائما في درجة ١٠٠ فيشاهد ان الحرارة المبينة بالترمومتر تختلف مع اختلاف لوح ا ولا يستنتج من ذلك القوة العاكسة لجسم فقط بل ونسبة قوة هذا الجسم الى قوة جسم آخر مأخوذة حدا للمقابلة وتكون الحرارة المبينة بهذه الآلة مناسبة لكمية الحرارة التي تقبلها وبناء على ذلك اذا مشى الترمومتر الاختلافي في درجة واحدة بلوح من الزجاج مثلا ومشى ست درجات بلوح من الرصاص يستنتج من ذلك ان كمية الحرارة المنعكسة بالرصاص تكون أكثر من كمية الحرارة المنعكسة بالزجاج ست مرات لان الحرارة البارزة من الينبوع واحدة ومرآة ن عكست منها مقدارا واحدا والاختلاف

لا يمكن

لا يمكن تعلقه الا بالقوة العاكسة لكل من اللوحين

وبهذه الطريقة مع تقدير القوة العاكسة للنحاس الاصفر ١٠٠ وأخذها حدا للمقابلة صنع ليلى جدول القوى العاكسة النسبية الآتى

نحاس أصفر مصقول	١٠٠	حبر الصين	١٣
فضة	٩٠	قصدير متلغم	١٠
قصدير	٨٠	زجاج	١٠
صلب	٧٠	زجاج مدهون بالزيت	٥
رصاص	٦٠	نيلج	٠

وهذه الاعداد لا تبين الا القوة العاكسة النسبية بالنسبة للنحاس الاصفر أعنى النسبة بين كمية الحرارة التى تعكسها هذه الاجسام وكمية الحرارة التى يعكسها النحاس الاصفر فى نفس الاحوال وتكون قوتها المطلقة نسبة كمية الحرارة المنعكسة الى كمية الحرارة المستقبلة

وميلونى هو أول من عين بواسطة الترمومواتيبليكاتور القوة العاكسة المطلقة لبعض الاجسام وبروفوستاى ودبسين اللذان عيناها لكثير من المعادن نظما الجهاز كما هو فى شكل ١٨٥ المتقدم فيرفع لوح مَ وادارة مسطرة ر الى أن تصير فى استطالة مسطرة م ن يقبل العمود الحرارة من الينبوع مباشرة فاذا بين الجلوانومتر ١٨ درجة مثلا فيوضع حينئذ على المينة المدرجة لوح مَ الجيد الصقل من المعدن الذى يبحث عن قوته العاكسة وتدار المسطرة الى ان يقبل العمود الحرارة المنعكسة باللوح وحيث ان الجلوانومتر يبين فى هذه الحالة زوغانا أقل وليكن ١٥ درجة فينتج من ذلك أن قوة اللوح المطلقة هى $\frac{١٥}{١٨}$ وهكذا وجد كل من بروفوستاى ودبسين القوى المطلقة الآتية والحال أن انعكاس الحرارة كائن على زاوية تساوى ٥٠ درجة

لوح من الفضة	٠،٩٧	من الصلب	٠،٨٢
من الذهب	٠،٩٥	من الخارصين	٠،٨١
من النحاس الاصفر والاحمر	٠،٩٣	من الحديد	٠،٧٧
من البلاتين	٠،٨٣	من زهر الحديد	٠،٧٤

وسنذكر فى مبحث الاسباب التى تنوّع القوى العاكسة الاسباب التى تنوّع القوّة العاكسة للجسم الواحد

(المبحث الرابع عشر فى القوّة التشربية)

القوّة التشربية للاجسام هى الخاصية التى بها تتشرب الاجسام المذكورة مقدارا كثيرا أو قليلا من الحرارة الآتية اليها ومقدارها المطلق هو نسبة كمية الحرارة المتشربة الى كمية الحرارة الواصلة وقال تندال ان التشرب يتعلق بالتوافق الذى يوجد بين اهتزاز العناصر التى يصدر عنها الموجات الاتيرية وبين اهتزاز العناصر التى تصدمها هذه الموجات

وهذا يفسر كيفية تشرب بعض الاجسام للحرارة أكثر من البعض الآخر

وقوّة التشرب لجسم تكون دائما فى ترتيب مضاد لقوّة انعكاسه أعنى كلما كان الجسم يعكس الحرارة كثيرا كان تشربه للحرارة قليلا وكلما كان كثير التشرب للحرارة كلما كان قليل الانعكاس لها لكن القوّتان ليستا تامّتين أعنى أنّ مقدار كميتى الحرارة المنعكسة والمتشربة لا يبين جميع الحرارة الواصلة للجسم أى لا يكون مساويا لها بل يكون دائما أقل وهذا ناشئ عن انقسام الحرارة الواصلة الى ثلاثة أجزاء أحدها يتشرب وثانيها ينعكس بانتظام على حسب قوانين الانعكاس المتقدّمة وثالثها ينعكس بدون انتظام أعنى فى جميع الجهات ويسمى بالحرارة المتشتتة وسنذكر قريبا أنه يعتبر فى بعض الاجسام جزء رابع من الحرارة وهو الذى يمرّ فى وسطها واستعمل ليلى لاجل تعيين القوّة التشربية للاجسام الجهاز المتقدّم فى شكل ١٨٦ المستعمل للبحث عن القوّة العاكسة وأزال لوح ا ووضع كرة الترمومتر الاختلافى فى بورة المرآة العاكسة وكانت هذه الكرة تغلف على التوالى بالهباب والورنيش وأوراق الذهب والفضة والنحاس وغيرها فكان الترمومتر تحت تأثير الينبوع م يبين حرارة أكثر ارتفاعا كلما كان الجسم المغطى للكرة يمتص كثيرا من الحرارة وبهذه الكيفية أثبت ليلى أنّ القوّة التشربية لجسم تكون أعظم كلما كانت قوّته العاكسة أكثر ضعفا ومع ذلك فلا يمكن فى هذه التجارب أن يستنتج نسبة القوى التشربية من نسبة درجات الحرارة المبينة بالترمومتر لانّ قانون نيتون هنا ليس مطبقا بالدقة لكن سنذكر فى مبحث

تساوى

تساوي القوة التشربية والقوة الابرازية كيف نستنتج نسب القوى التشربية من نسب القوى الابرازية

وعين ميلوني القوى التشربية النسبية بواسطة جهازه بالكيفية الآتية وهو أنه ثبت أمام العمود الحراري ألواحا رقيقة من نحاس أسطح وجهها المقابلة للعمود مغطاة بالهباب والسطح الآخر المستقبل أشعة ينبوع الحرارة مغطى بالجسم الذي يبحث عن قوته التشربية كطبقة من الاسفيداج أو من صمغ اللك أو فرخ ورق أو ورقة من الذهب أو القصدير مثلا فيتشرب هذه الاجسام المختلفة كثيرا أو قليلا من الحرارة الواصلة تشع ألواح النحاس جهة العمود الحراري بدون مساواة ويبين الجلوانومتر زوغانات مختلفة فبجعل ينبوع الحرارة مكعب ليلي المملوء بماء في درجة ١٠٠ واعتبار القوة التشربية للهباب ١٠٠ وجد ميلوني حينئذ القوى التشربية النسبية الآتية

هباب	١٠٠	حبر الصين	٨٥
اسفيداج	١٠٠	صمغ اللك	٧٢
غراء السمك	٩١	معادن	١٣

(المبحث الخامس عشر في القوة الابرازية)

القوة الابرازية للاجسام هي خاصية ابرازها مقدارا كثيرا أو قليلا من الحرارة مع تساوي درجة الحرارة والسطح المبرز

وقد عين ليلي أيضا بواسطة الجهاز الموضح في مبحث القوة العاكسة القوة الابرازية للاجسام وذلك أنه وضع كرة الترمومتر الاختلافي في بورة العاكس وجعل وجوه المكعب م من معادن مختلفة أو غطاها بمواد مختلفة كالهباب والورق وغيرهما وملأ المكعب بالماء درجة ١٠٠ وجعل بقية الشروط بعينها ثم أدار على التوالي جهة العاكس كل سطح من المكعب وبين درجات الحرارة التي علمت بواسطة الترمومتر فظهر له أن الحرارة المنبعثة من وجه المكعب المغطى بالهباب اكبر من الحرارة المنبعثة من أي وجه من بقية وجوهه وان الحرارة المنبعثة من وجوه المكعب المعدنية هي الاقل درجة وباستعمال قانون نيتون هنا وتقدير الحرارة البارزة من الهباب ١٠٠ صنع ليلي الجدول الآتي للقوى الابرازية النسبية

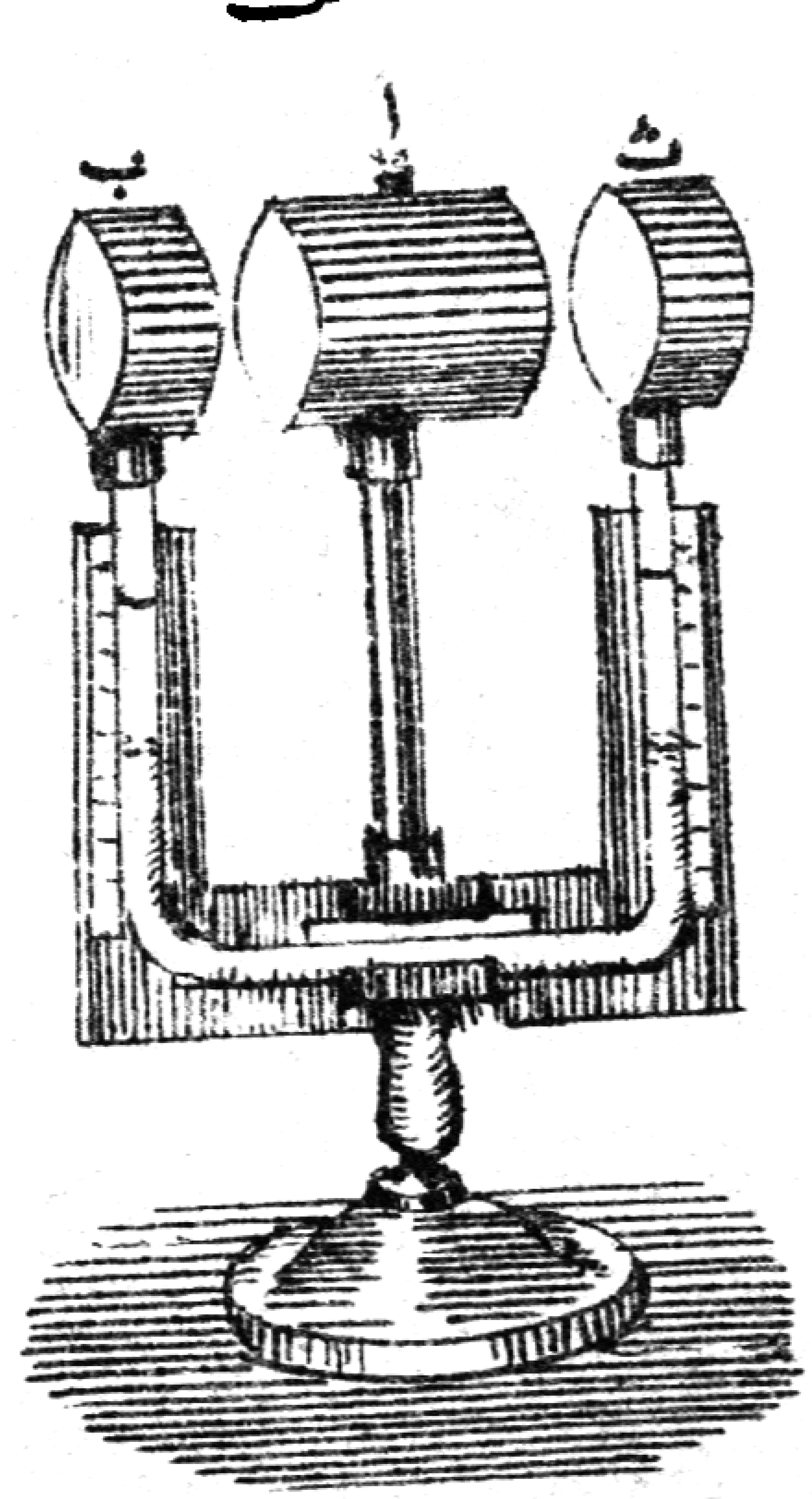
هباب الدخان	١٠٠	غراء سمك	٨٠
اسفيداج	١٠٠	رصاص كابى	٤٥
ورق	٩٨	زئبق	٢٠
شمع الختم	٩٥	رصاص براق ازيلت عنه الوساخة	١٩
زجاج أبيض معتاد	٩٠	حديد مصقول	١٥
حبر الصين	٨٨	قصدير ذهب فضة نحاس الخ	١٢

وبالتأمل فى هذا الجدول يشاهد أن ترتيب الاجسام فيه عكس ترتيبها فى جدول القوى العاكسة وعين ميلونى القوة الابرازية كما عينها الميلى بكيفية موضحة فى المطولات

(المبحث السادس عشر فى تساوى القوى التشربية والابرازية)

لا يمكن استنتاج القوة التشربية من القوة العاكسة لانه شوهد فى مبحث القوى التشربية أن احداهما ليست مساوية للاخرى بالدقة لكن القوة التشربية تصير متعينة اذا ثبت أن القوى التشربية والقوى الابرازية متساوية فى الجسم الواحد وقد ثبت ذلك بواسطة الجهاز الآتى المنسوب الى ريتشى وهذا الجهاز ليس هو إلا ترمومترا اختلافيا استعوضت كرتاه الزجاج بحوضين اسطوانيين ب و ث من معدن مملوءين بالهواء كما فى شكل ١٩٠ وبينهما حوض ثالث ا اكبر منهما ومثلهما فى الشكل ويمكن ملؤه بالماء الساخن بواسطة فتحة فيه وزيادة على ذلك فهو متحرك ويمكن تقريبه كثيرا أو قليلا من ب أو ث وبالجملة فقواعد هذه الثلاث اسطوانات المتقابلة تكون بيضاء وسوداء على التوالى أعنى أن سطحى ب ده ا المتجهين جهة يمين الشكل مغطيان بالهباب وسطحى ث ده ا المتجهين جهة اليسار مدهونان بالابيض


شكل ١٩٠



أومصفحان بالفضة بحيث ان الوجهين المتقابلين يكون أحدهما أبيض والآخر أسود وينتج من ذلك أنه متى ملئت اسطوانة ا بالماء المسخن شعع سطحها الابيض نحو الوجه الاسود من اسطوانة ب وسطحها الاسود نحو السطح الابيض من اسطوانة ث ويصير أحد السطحين الابيضين والاسودين مبرزا والآخر متشربا

ومتى نظمت التجربة هكذا وملئت اسطوانة ا بالماء المسخن يشاهد أنه متى كان بعد الاسطوانة من ب ومن ث متساويا فان عمود السائل الذى فى الانبوبة يبقى ساكنا فى ارتفاع واحد فى الشعبتين وهذا يورى أن اسطوانتى ب و ث فى حرارة واحدة وتوجد حينئذ المعاوضة من جهة بين القوة العظيمة المبرزة للسطح الاسود من اسطوانة ا و بين القوة التشربية الضعيفة جدا للسطح الابيض من اسطوانة ث ومن الجهة الاخرى بين أضعف القوى المبرزة الضعيفة جدا للسطح الابيض لاسطوانة ا والقوة التشربية العظيمة جدا للسطح الاسود لاسطوانة ب ومن ذلك يستنتج أن القوة التشربية والمبرزة للسطحين الاسودين وكذا للسطحين الابيضين متساويتان لبعضهما أو يكونان متناسبتين بالاقل

وتنجح هذه التجربة اذا استعوض السطحان الابيضان بقرصين من الورق أو الزجاج أو الصينى أو غير ذلك

(المبحث السابع عشر فى الاسباب التى تنوع القوة العاكسة والتشربية والابرازية)

حيث ان القوة الابرازية والتشربية متساويتان فبكل سبب ينوع احداهما فضرورة ينوع الاخرى وأما القوة العاكسة فحيث ان سيرها مضاد للقوتين المذكورتين فجميع الاسباب التى تزيد هاتين القوتين تنقص القوة العاكسة والعكس بالعكس وقد ذكرنا أن هذه القوى المختلفة تتغير من جسم الى آخر وأن القوة العاكسة فى الاجسام المعدنية أعظم منها فى غير المعدنية وأن القوة العاكسة ضعيفة جدا فى الهباب لكن هذه القوى تتغير فى الجسم الواحد بتغير درجة صقالته وكثافته وثخانة الجسم المشعع أو العاكس وبالحالة الطبيعية لهذا الجسم وبميل الاشعة الساقطة أو البارزة و بطبيعة ينبوع الحرارة و بنوع الحرارة مظلمة كانت أو مضيئة

(القوة العاكسة) طالما قيل زمنا طويلا ان القوة العاكسة تزداد بطريقة عامة مع ازدياد درجة صقالة السطوح العاكسة وان القوتين الاخريين ينقصان بالعكس لكن أثبت ميلونى انه اذا خدش لوح معدنى مصقول تنقص قوته العاكسة تارة وتزيد تارة

أخرى وفسر هذا الطبيعي هذه الظاهرة بازدياد أو نقص الكثافة التي يأخذها اللوح فان كان هذا اللوح طرق ابتداء على البارد فان تماثل أجزائه يختل وتكون الاجزاء في السطح أكثر انضماما مما في الكتلة وتزداد القوة العاكسة وحينئذ اذا خدش السطح تعرت الكتلة الباطنة التي هي أقل كثافة ونقصت القوة العاكسة وبالعكس في اللوح المتماثل الذي لم يطرق على البارد متى خدش بآلة قاطعة وهذا ينشأ عن تزايد الكثافة في السطح المتسببة عن التخدش الذي فعل فيه

وتتغير القوة العاكسة تبعا لميل الاشعة الساقطة ويكون هذا التغير قليل الاحساس في المعادن لكن في الاجسام الشفافة تزداد كمية الحرارة المنعكسة بسرعة مع تزايد زاوية السقوط ففي الزجاج مثلا تصير القوة العاكسة المطلقة التي هي ٥ و ٠ لزاوية السقوط المساوية الى ٢٠ درجة ٥٥ و ٠ لزاوية السقوط المساوية ٨٠ درجة وتتنوع القوة العاكسة أيضا مع تنوع الينبوع الحراري فتكون للصلب ٦٠ و ٠ مع حرارة الشمس و٨٣ و ٠ مع الحرارة البارزة من مصباح غير مغطى بزجاج

وبالجملة فان القوة العاكسة للمعادن تكون بالحرارة المظلمة أكثر مما تكون بالحرارة المضيئة

(القوة الابرازية) ثخانة الاجسام تنوع قوتها الابرازية كما ثبت من تجارب ليلي و رونفور و ميلوني

وحقق ميلوني ذلك بطلاء أوجه مكعب معدني مملوء بماء درجة حرارته ثابتة بالورنيش فكانت تزداد القوة الابرازية مع ازدياد عدد طبقات الورنيش الى ١٦ طبقة وفيما وراء ذلك بقيت ثابتة مهما زاد عدد الطبقات ولما قدر ثخانة الست عشرة طبقة وجدها $\frac{٤}{١٠٠}$ من المليمتر

وأما المعادن وأوراق الذهب التي ثخانتها ٨ و ٤٠٢ الفية من المليمتر فبوضعها على التوالي على أوجه مكعب من الزجاج يكون نقص الحرارة المتشعة واحدا فينتج من هذا أن ثخانة الطبقة المشعة من الاجسام المعدنية لا تأثير لها

والحالة الطبيعية للجسم تغير كذلك قوته الابرازية وحينئذ فالاجسام الحالة الى مسحوق ناعم جدا يظهر أن جميعها له قوة ابرازية واحدة وأول ما شاهده ماسون وكورتيني في ستة عشر جسما وعلى عشرين عرضت للتجربة ونسب تندال هذه النتيجة

النتيجة للصمغ العربي المستعمل لتثبيت المساحيق لانه وضعها بواسطة الماء فوجد قوى ابرازيه متغايرة

والقوى الابرازية تتغير أيضا مع تغير ميل الاشعة على السطح الذى يبرزها ويستثنى الهباب الذى تكون معه القوة الابرازية ثابتة فى كل ميلان ومع الاسفيداج فالقوة الابرازية الكائنة ١٠٠ فى الاتجاه العمودى لا تكون أكثر من ٦٦ تحت ميلان ٦٠ درجة وفى نفس شروط الميل تكون القوة الابرازية للزجاج ٩٠ و٥٤ على التوالى وبالجملة فان القوة الابرازية تتغير فى الجسم الواحد مع تغير الحرارة مثال ذلك القوة الابرازية لبورات الرصاص فانها تنقص متى جعل الحرارة مرتفعة ففى درجة ١٠٠ تكون تقريبا كالقوة الابرازية للهباب بخلافه فى درجة ٥٠٠ فلا تكون الا ٠,٧٥ وأما الاجسام الغازية عند احتراقها فقوتها التشعيعية ضعيفة جدا كما يتحقق ذلك بتقريب العمود الحرارى الكهربائى للهب الايدروجين وان كانت حرارته مرتفعة جدا لكن اذا وضع فى اللهب حلزون من البلاتين فان هذا الحلزون باكتسابه حرارة اللهب يشعع الحرارة بقوة و يفعل مشابه لذلك يشعع لهب المصابيح وغاز الاستصباح حرارة أكثر من لهب الايدروجين بسبب كثرة مقدار الفحم المحتوى عليه لهب المصابيح وغاز الاستصباح و يصير محمرا فى اللهب بسبب عدم احتراقه بالكلية

(القوة التشربية) أثبت ميلونى أن القوة التشربية تتغير مع تغير طبيعة و ينبوع الحرارة فمثلا كربونات الرصاص تتشرب من كمية الحرارة الواحدة الساقطة المتشععة من مكعب مملوء بماء درجته ١٠٠ مرتين تقريبا زيادة عما تتشربه منها اذا كانت متشععة من مصباح والهباب فقط يتشرب دائما كمية واحدة من الحرارة مهما كان الينبوع

وتتغير القوة التشربية مع تغير ميل الاشعة الساقطة فتكون فى غاية شدتها فى السقوط العمودى وتنقص بمجرد تباعد الاشعة الساقطة عن الخط العمودى وهذا هو أحد الاسباب التى بها تسخن الارض فى الصيف أكثر من الشتاء لان الاشعة الشمسية تكون فى الصيف أقل ميلانا وبالاختصار فجميع الاسباب التى تنوع القوة الابرازية تنوع القوة التشربية

(المبحث الثامن عشر فى استعمال القوة العاكسة والتشربية والابرازية)

خاصية تشرب الاجسام وانعكاسها أو ابرازها للحرارة بسهولة كثيرة أو قليلة أظهرت

استعمالات عديدة فى التدبير الاهلى وفى الصنائع فلا توجد الفائدة أعظم بالاوانى التى تسخن فيها السوائل كبكارج وتنكات القهوة كلما كانت سطوحها سوداء وغير مصقولة أى خشنة لان القوة التشربية تكون حينئذ أعظم وأما اذا قصد حفظ سائل ساخن زمناما ولا على قدر الامكان فيلزم وضعه فى اناء معدنى مصقول لماع كاناء الشاى المتخذ من الفضة لان القوة الابرازية حيث انها تكون حينئذ ضعيفة فيحصل التبريد ببطء زائد

ولما وضع فرنكلين خرقا مختلفة اللون على الثلج وعرضها للاشعة الشمسية وجد أن الخرق السوداء غاصت اعماقا كثيرة أو قليلة وان الخرق البيضاء لم تغص مطلقا فاستنتج من ذلك أن الخرق السوداء تشربت الحرارة أجود من الخرق البيضاء ومن هذا الوقت استعملت تجربة فرنكلين فى الملابس وعرف حقيقة ان الملابس البيضاء أكثر طراوة من السوداء زمن الصيف لانها تمتص حرارة أقل من السوداء وأكثر سخونة زمن الشتاء لانها تبرز حرارة أقل من السوداء

وفى هذا الشأن لاحظ تندال انه اذا كانت جميع الاشعة الحرارية ضوئية أعنى من أشعة الشمس يمكن استنتاج قوة الجسم التشربية من لونه لكن حيث ان معظم الاشعة الشمسية غير مشاهد فيكون التلون والتشرب ظاهر يين متميزين وفى الواقع أورى المعلم المذكور أنه اذا طليت ثلاثة أوجه مكعب من التنك أحدهم أبيض بالطباشير والثانى أحمر بالكرمين أى اللعلى والثالث أسود بالهباب وملئ المكعب بماء درجته ١٠٠ وعرضت الثلاثة أوجه الى العمود الحرارى الكهربائى أحدثت زوغانا واحدا فى ابرة الجلوانومتر واذا عرض الوجه العارى قربت الابرة حالا من الصفر وتحدث نفس النتائج بمكعب مغطى كل من ثلاثة أوجهه بقطيفة بيضاء وحمراء وسوداء والرابع عار وبالجملة أثبت تندال أن ورقتين احداهما بيضاء والثانية مسودة باليود عرضتا لبورة واحدة فسخنت الورقة البيضاء أكثر من الورقة المسودة واستنتج من ذلك أن اللون فى ملبوساتنا وفراوى ذوات الاربع وريش الطيور ليس هو الذى له التأثير بل التأثير للنسيج ودرجة قابلية التوصيل

(المبحث التاسع عشر فى القوة التنفيذية)

من الاجسام ما تنفذ منه الحرارة المتشععة بالكيفية التى بها ينفذ الضوء من الاجسام الشفافة كالهواء والماء والزجاج ومنها ما هو مجرد عن هذه الخاصية أولا توجد فيه الا

الابدرجة ضعيفة جدًا وتسمى الاجسام الاول بالمنفذة والاخر بالمانعة والغازات البسيطة أجود الاجسام تنفيذا للحرارة والمعادن مانعة بالكلية ثم ان الحرارة المتشععة والضوء وان كانا متشابهين الاان الاجسام الشفافة ليست دائما أكثر تنفيذا للحرارة وليست الاجسام المعتمة دائما مانعة لها ومن أراد الاطلاع على التجارب والمناقشات ونظرية ميلونى بخصوص القوة التنفيذية فعليه بالمطولات

(المبحث الرابع عشر فى استعمال القوة التنفيذية)

لاشك أن الهواء منفذ جيد لان جميع الحوادث الصادرة من الحرارة المتشععة تحدث فيه ولشدة قوته التنفيذية توجد الطبقات العليا من الجو باردة جدا مع مرور الاشعة الشمسية منها دائما وأما الماء فانه يحدث عنه فى جوف البحار والبرك عكس مايحدث فى الجو لكونه جسما غير جيد التنفيذ أى ان الطبقات العليا فى البحار والبرك تكون عرضة للتغيرات الحرارية على حسب الفصول دون بقية الطبقات السفلى الكائنة بعد عمق ما فان درجة حرارتها تبقى ثابتة وخواص الاجسام المنفذة استعملت لفصل الضوء والحرارة المتشععين معا من ينبوع واحد عن بعضهما فاذا غطى ملح الطعام بالهباب أوقف الضوء بالكلية وترك الحرارة تمر وبالعكس صفائح أو محلول الشب توقف الحرارة وتترك الضوء يمر وهذه الطريقة الاخيرة مستعملة بفائدة فى الاجهزة المستضيئة بالاشعة الشمسية او بالضوء الكهربائى متى لزم اجتناب الحرارة الشديدة واليود المحلول فى ثانى كبريتور الكربون يحدث عكس الفعل فيتشرب الاشعة الضوئية ويترك الحرارة تمر واستعمال النواقيس فى البساتين لتغطية بعض النباتات وحفظها مؤسس على خاصية القوة التنفيذية للزجاج فهذا الجسم تنفذ منه الاشعة الشمسية التى لها حرارة شديدة ولا تنفذ منه الحررة المتشععة من سطح الارض

(المبحث الخامس عشر فى الحرارة المتلاشية)

الحرارة التى تسقط على سطح الجسم لاينعكس جميعها على حسب قوانين الانعكاس المتقدمة بل ينعكس جزء منها بدون انتظام أعنى فى جميع الجهات حوالى نقطة السقوط وهذه الظاهرة هى ما يسمى بالتلاشى أى التشتت أو بالانعكاس الغير منتظم للحرارة والانعكاس الذى يتبع قوانين الانعكاس المتقدمة يسمى انعكاسا منتظما وميلونى هو الذى استكشف ظاهرة التشتت بسطوح الاجسام

والانعكاس المنتظم لا يحصل إلا على السطوح المصقولة والغير منتظم بالعكس يحصل على السطوح الكابية أو الخشنة كالواح الخشب والزجاج والمعادن الغير المصقولة وقوة التلاشي تتغير على حسب طبيعة الينبوع وطبيعة الاجسام العاكسة فاما الاجسام البيضاء فانها شديدة التشتت للحرارة المتشععة من ينبوع حرارة واصلة للدرجة الحمراء البيضاء وأما المعادن الكابية فهي أيضا أكثر تشتتا للحرارة من الاجسام البيضاء

(الفصل التاسع عشر في ينابيع الحرارة والبرودة وفيه مباحث)

بمقتضى نظرية تحرك الحرارة لا يوجد في الحقيقة الا ينبوع واحد للحرارة وهو الحركة المؤثرة في جزيئات المادة وانما يمكن الحصول عليها بعدة طرق ومن ذلك نتج أولا الينابيع الميخانيكية المشتملة على الدلك والطرق والضغط وثانيا الينابيع الطبيعية كالتشعع الشمسي والحرارة الارضية والتأثير الجزيئي وتغير حالة الاجسام والكهربائية وثالثا الينابيع الكيماوية أعني الاتحادات الجزيئية وبالخصوص الاحتراق وينبغي نسبة الحرارة الحيوانية للينابيع الكيماوية وان كانت دراستها تخص علم الفيسيولوجيه

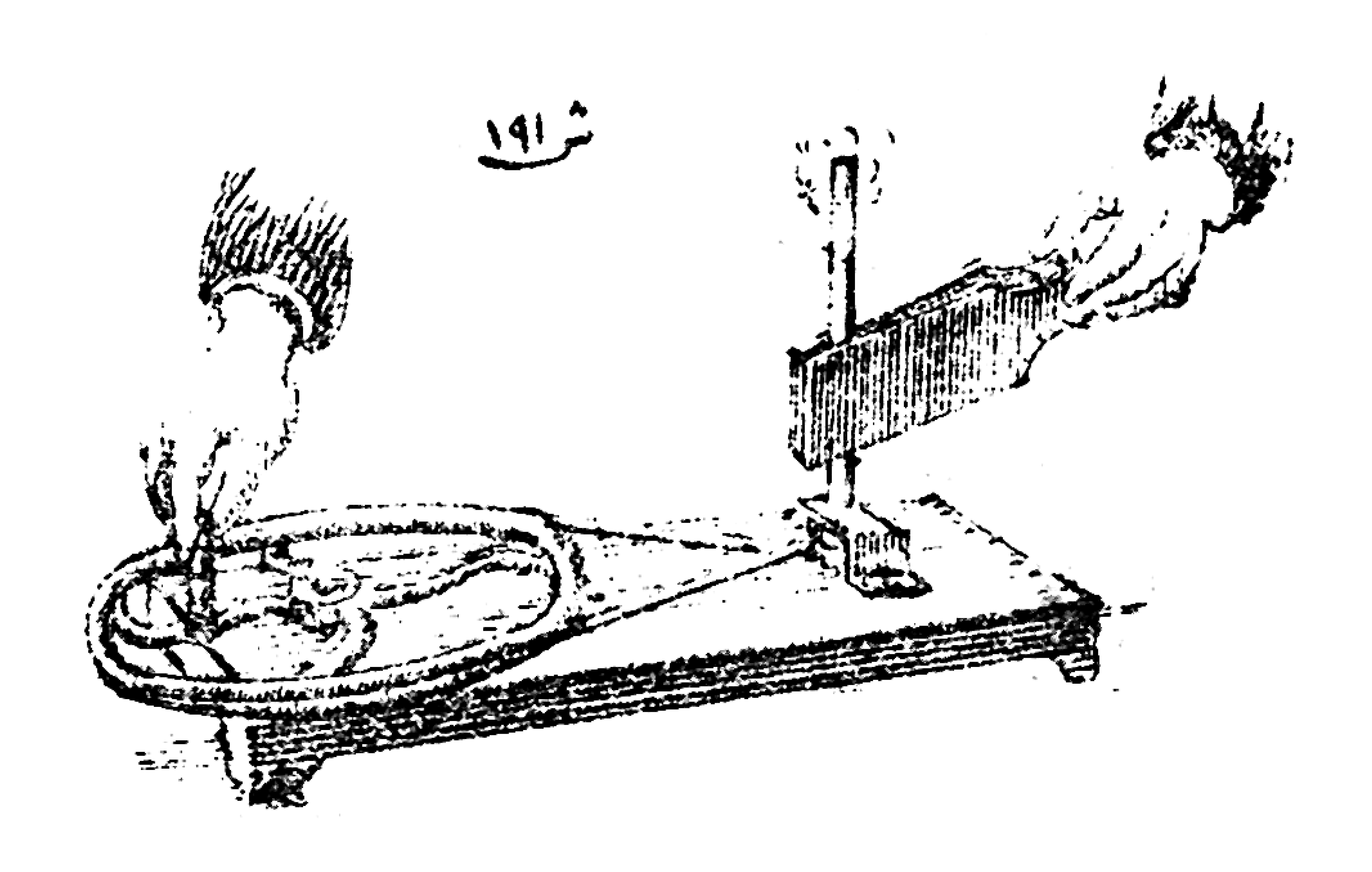
(المبحث الاول في الينابيع الميخانيكية)

(الحرارة المنسوبة الى الدلك) اذا دلك جسم بجسم انتشرت كمية من الحرارة تكون أعظم كلما كان الضغط أقوى وحركة الدلك سريعة وفي الغالب أن خشب محل العربات بدلكه بين المحاور يسخن الى أن يلتهب ولذا يدهنونها بالشحم لتلطيف الاحتكاك والمعلم داقي أذاب قطعتين من الجليد بدلك احداهما بالاخرى في جو انزل من الصفر وبثقب قطعة من النوج تحت الماء وجد رونفور أنه لاجل الحصول على ٢٥٠ جراما من البرادة يلزم أن تنتشر بالدلك حرارة كافية لرفع ٢٥ كيلوجرام من الماء من درجة الصفر الى درجة ١٠٠ +

وصنع كل من بومون ومابر جهازا رفعا به في بعض ساعات ٤٠٠ ليتر من الماء من درجة ١٠ + الى ١٣٠ درجة بدلك مخروط من الخشب مغطى بالتيل يدور ٤٠٠ دورة في الدقيقة في مخروط من النحاس مجوفا مثبتا ومغمورا في ماء قزان مغلقا غلقا محكما وكانت السطوح المدلوكة مدهونة بالزيت

وحيث ان كلا من تجربة رونفور وتجربة بومون ومابر تحتاج زمنا طويلا لاجل تكريرها في الدرس نذكر جهاز المعلم تندال الذي يوري الحرارة المنتشرة بالدلك

فى بعض دقائق وهو يتركب من أنبوبة من النحاس الاصفر مجوّفة ومملوءة بالماء تصل لها حركة دوران سريعة بواسطة بكرة مثبت عليها عجلة كبيرة وسير من جلد كما فى شكل ١٩١



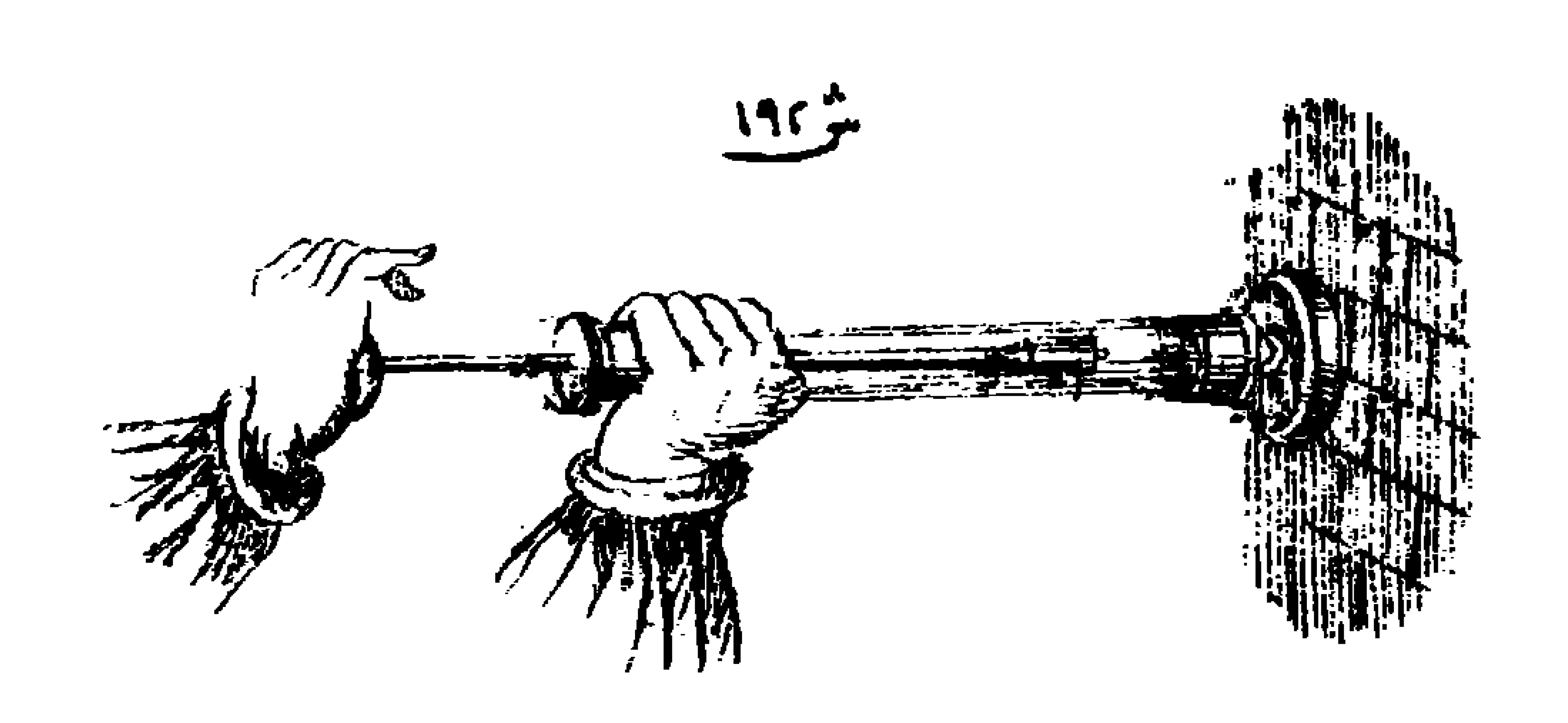
والانبوبة طولها عشر سنتيمترات تقريبا وقطرها سنتيمتران ولاجل مكث العملية زمنا قليلا لاتملأ الانبوبة بالماء الفاتر وتسد بسدادة لكى لا ينقذف الماء من حركة الدوران ويوضع حوالى الانبوبة ماسك من خشب متكون من لوحين منضمين بمشبك محفورين بحيث يتكون بينهما قناة ليعانقا الانبوبة جيدا وعند ما تدير اليد العجلة الكبيرة تضم اليد الاخرى الانبوبة بين اللوحين فتسخن حينئذ بسرعة بواسطة الدلك وتتجاوز بها الحرارة الماء ١٠٠ درجة وتنقذف السدادة بقوّة مرونة البخار وبقدح الزناد المتخذ من صلب على الصوّانة الرقيقة الطرف تنفصل منه أجزاء معدنية دقيقة فيها حرارة كافية لالهابها فى الهواء

والحرارة المنتشرة بالدلك فى جميع هذه التجارب تنسب الى حركة اهتزازية منطبعة فى جزيئات الاجسام

(الحرارة المنسوبة الى الضغط) اذا ضغط جسم بحيث تزداد كثافته فان حرارته ترتفع كثيرا كلما كثر نقص حجمه وهذه الظاهرة قليلة الظهور فى السوائل وكثيرته فى الجوامد

واما الغازات القابلة للانضغاط فى أعلى درجة فيوجد فيها انتشار حرارة عظيمة تنسب للشغل المستعمل مدة الضغط وانتشار الحرارة الشديدة المتولدة فى الغازات المنضغطة يثبت بواسطة الزند الهوائى وهو جهاز يتركب من أنبوبة من زجاج ثخينة الجدران فيها مكبس موشح بجلد ليسدها سدا محكما كما فى شكل ١٩٢

ش ١٩٢



وفى قاعدة هذا المكبس حفرة توضع فيها قطعة صوفان فاذا كانت الانبوبة مملوءة بالهواء وأدخل فيها المكبس بسرعة يسخن الهواء المنضغط حينئذ الى أن يلتهب الصوفان ويشاهد التهابه اذا أخرج المكبس بسرعة والتهاب الصوفان فى هذه التجربة تفرض حرارته ٣٠٠ درجة بالاقل ويتولد فى وقت الضغط ضوء شديد نسب ابتداء الى الحرارة المرتفعة التى وصل اليها الهواء لكن تحقق انه ينسب الى التهاب الزيت الذى دهن به المكبس

(المبحث الثانى فى الينابيع الطبيعية)

(التشعع الشمسى) الشمس هى أشد ينابيع الحرارة وسبب الحرارة الخارجة منها مجهول وقد اعتبرها بعضهم كتلة ملتهبة وبعضهم اعتبرها كانها متركبة من طبقات يؤثر بعضها على بعض تأثيرا كيماويا كتأثير أزواج عمود ولطه وتولد حينئذ تيارات كهربائية ينسب لها ضوء وحرارة الشمس وهناك آراء كثيرة مذكورة فى المطولات

(الحرارة الارضية) الكرة الارضية لها حرارة خاصة تسمى بالحرارة المركزية وفى الواقع أن فى عمق قليل الاعتبار يتغير على حسب البلاد توجد طبقة حرارتها ثابتة فى جميع الفصول ويستنتج من ذلك ان حرارة الشمس لا تنفذ فى باطن الارض إلا لعمق محدود ثم

فيما اسفل من هذه الطبقة المسماة طبقة الاعتدال يشاهد أن الحرارة تزداد درجة كلما سفل الانسان من ٣٠ الى ٤٠ مترا وقانون تزايد الحرارة هذا يتحقق فى الاعماق العظيمة لمحل استخراج المعادن وللآبار النافورية ومع ذلك فتتغير كثيرا على حسب قابلية توصيل الاراضى وتتنوع كثيرا فى محل استخراج المعادن بجريان الهواء والماء وبالنزول الى عمق ٣٥٠٠ متر تصير حرارة الطبقة المنتسبة لهذا العمق ١٠٠ درجة والمياه المعدنية الساخنة والبراكين تثبت وجود الحرارة المركزية

والعمق الذى توجد فيه طبقة الاعتدال ليس واحدا فى جميع الجهات فيكون فى باريس ٢٧ مترا والحرارة فى هذا العمق تكون مدة السنة ١١٫٨ درجة

ووضعت جملة فرضيات لتوضيح الحرارة المركزية وأعظم فرض قاله الطبيعيون والجيولوجيون هو أن الارض كانت ابتداء فى حالة السيولة بتأثير حرارة مرتفعة وبالتشعع تجمد سطحها شيئا فشيئا بحيث تكونت قشرة صلبة لا يبلغ ثخنها الآن أكثر من ٦٠ كيلومترا والكتلة المركزية باقية أيضا فى حالة السيولة والتبريد ليس الامن الظاهر ببطء بسبب ضعف قابلية توصيل طبقات الارض وبهذا السبب لا ترفع الحرارة المركزية حرارة سطح الارض اكثر من $\frac{١}{٣٦}$ من درجة

ومع ذلك فكثير من الطبيعيين منهم ليبز و تومسون و هوجين باستنادهم على الظواهر الفلكية لحركة نقط الاعتدال وحركة المد والجزر قالوا ان الارض جميعها صلبة ظاهرا وباطنا وفسروا الحرارة المركزية بتأثير كيماوى ينسب لارتشاح مياه البحر

(المبحث الثالث فى الينابيع الكيماوية)

(الاتحاد الكيماوى والاتقاد) الاتحاد الكيماوى على العموم مصحوب دائما بانتشار حرارة كثيرة او قليلة فاذا كان ببطء كما اذا تأكسد الحديد من الهواء كانت الحرارة المنتشرة غير محسوسة واذا كان بسرعة كانت الحرارة المنتشرة شديدة وحصل الاحتراق حينئذ

وهكذا يسمى كل احتراق كيماوى حصل مع انتشار حرارة وضوء وفى الاحتراقات التى تظهرها الناجو والنار والمصابيح والشموع يتحد كل من كربون وايدروجين الخشب والزيوت والشمع مع أوكسيجين الهواء وقد تحدث احتراقات ليس للاوكسيجين فيها

أدنى وظيفة كما اذا ألقى الانتيمون المسحوق ناعما أو الفصفور المتجزئ فى زجاجة مملوءة بالكلور فان كلا منهما يتحد مع الكلور بانتشار حرارة وضوء شديدين وكثير من الاجسام القابلة للاحتراق تحترق بلهب واللهب ليس هو إلا غازا أو بخارا وصل الى درجة حرارة عالية بفعل الاحتراق وتتغير قوة اضاءته على حسب المتولدات التى تتكون مدة الاتقاد ووجود جسم صلب فى اللهب يزيد قوة إضاءته فلهب كل من الايدروجين وأوكسيد الكربون والكؤل يكون باهتا لانه لا يحتوى الا على متولدات غازية لكن لهب كل من الشمع والمصابيح وغاز الاستصباح له اضاءة قوية جدا لانه يحتوى على مقدار زائد من الكربون الذى يصل للدرجة الحمراء البيضاء فى اللهب بالنظر لكونه لا يكابد إلا احتراقا غير تام ويعطى اللهب اضاءة شديدة بوضع سلك من البلاتين فيه او الاميانت (الحرير الصخرى) وحرارة اللهب ليست بالنسبة لشدة اضاءته فان لهب الايدروجين الذى هو باهت جدا هو الذى ينشر أقوى حرارة

(المبحث الرابع فى التسخين)

(أنواع التسخين المختلفة) التسخين صناعة غايتها استعمال ينابيع الحرارة الخلقية فى التدبير الاهلى وفى الصنائع وينبوع الحرارة المستعمل الآن هو إحراق الخشب والفحم وفحم الحجر والكوك والتورب والانتراسيت ومن منذ بعض سنين ابتدئ استعمال غاز الاستصباح للتسخين ويمكن تمييز التسخين الى خمسة أنواع على حسب الاجهزة المستعملة للاحتراق الاول التسخين ذو الجور الظاهرة والمداخن الثانى الاحراق ذو الجور الباطنة (الوجاقات) الثالث التسخين بالهواء الساخن الرابع التسخين بالبخار الخامس التسخين بدوران الماء الساخن ومن أراد مراجعة كل منها فعليه بالمطولات

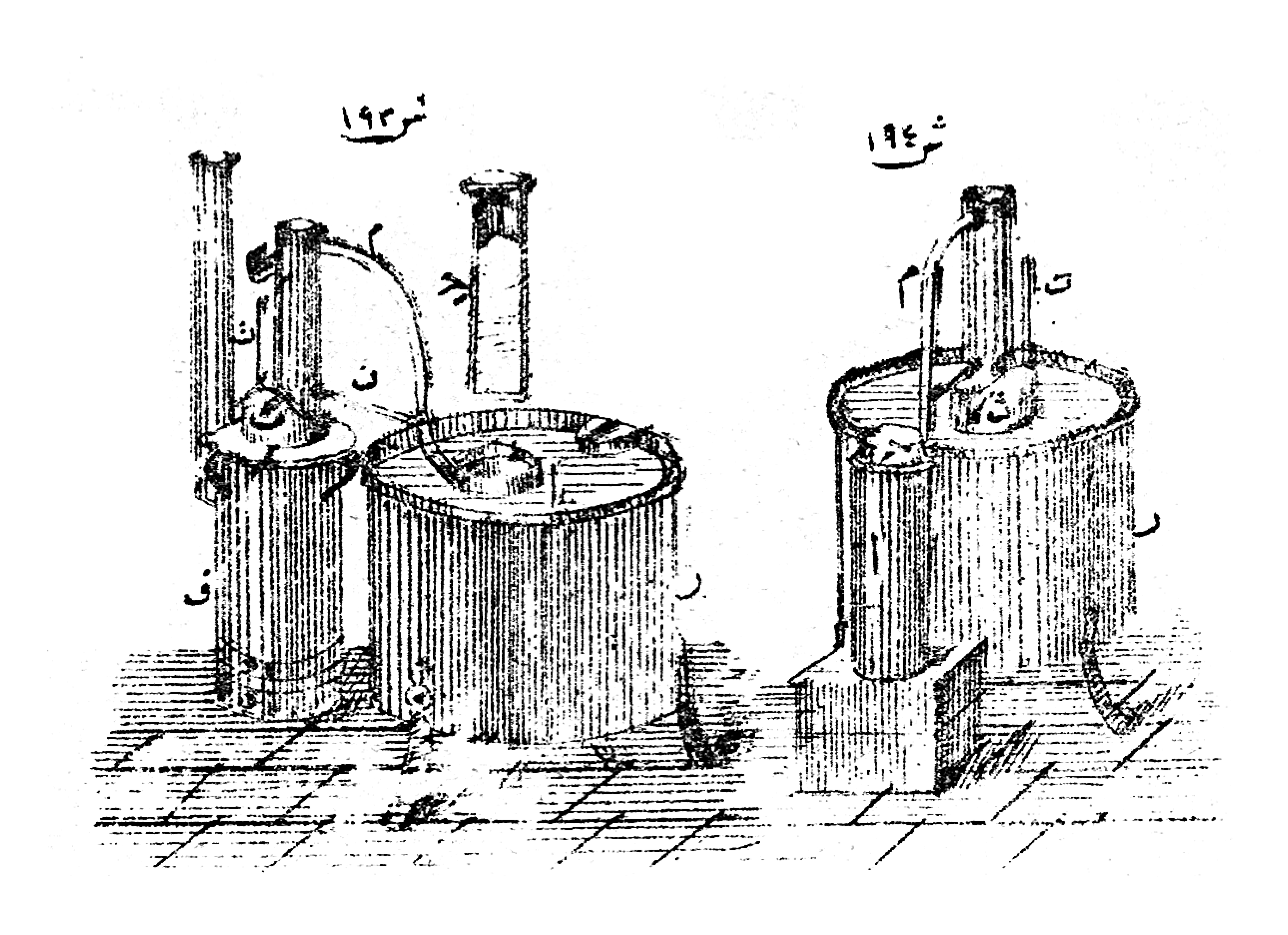
(المبحث الخامس فى ينابيع البرودة)

(ينابيع البرودة المختلفة) أسباب البرودة هى الانتقال من حالة الصلابة الى حالة السيولة ومن حالة السيولة الى الحالة البخارية أو الغازية وتمدد الغازات والتشعع على العموم وبالخصوص التشعع الليلى وقد سبق معرفة السببين الاولين فى المخاليط المبردة وفى البرودة المنسوبة للتصعيد ولا نتكلم هنا الا على السببين الاخيرين

(البرودة المتولدة عن تمدد الغازات) قد ذكرنا فى مبحث الحرارة المنسوبة للضغط ان بضغط الغازات ترتفع الحرارة وتخلخل الغازات بعكس ذلك فانه يكون مصحوبا

بانخفاض

بانخفاض الحرارة ويتحقق ذلك بوضع ترمومتر بريحيه تحت مستودع الآلة المفرغة ويفعل الفراغ ففي كل دقة للكبس يتمدد الغاز وتتقدم الابرة جهة الصفر ثم ترجع حالا (جهاز كارى المستعمل لتجمد الماء) قد ذكرنا في مبحث الحرارة الكامنة للابخرة ان كل سائل يتصاعد بخارا يمتص في حالة تكون كمية عظيمة من الحرارة ومن ذلك ينتج بنبوع برودة يكون أعظم كلما كان السائل أكثر تطايرا وحرارة تطايره تكون عظيمة واستعمل كارى هذه الخاصية لتجمد الماء أي تجمده بتقطير النوشادر ويتركب جهاز كارى من قزان أسطوانى ث كما في شكلى ١٩٣ و١٩٤



ومن إناء قمعى قليلا ا وهو الذى يجمد فيه الماء وهذان الاناآن يتصلان ببعضهما بواسطة أنبوبة م وينضمان بقطعة ن المستعملة لربطهما ببعض ربطا قويا والجهاز من صفائح الحديد المتينة المقصدرة التى يمكنها مقاومة ضغط قدر ضغط الجو ست مرات فالقزان ث الذى يسع ثمانى لترات يملأ ثلاثة أرباعه بمحلول النوشادر المتركز ويصب الزيت من فتحة منظمة في الجدار العلوى ويغمر في هذا الزيت ترمومتر ت الذى يبين حرارة ١٠٠ الى ١٥٠ درجة وبالجملة فاناء ا المعد لتجمد الماء يتكون من غلافين

متراكزين بحيث ان جزءه المركزى الفارغ فى جميع طوله يمكن فيه وضع الاناء التنك ح المحتوى على الماء المراد تجمده وتكون حينئذ المسافة المنحصرة بين غلاف الاناء المعد لتجمد الماء هى فقط المتصلة مع القزان بواسطة أنبوبة م وعلى القاع العلوى لاناء التجمد فتحة صغيرة منها يدخل المحلول النوشادرى فى الجهاز ومنها يطرد الهواء وتسد بعد ذلك سدا محكما بسدادة معدنية

اذا علمت هذه التفاصيل فتكوين الجليد يشتمل على عمليتين متميزتين ففى العملية الاولى شكل ١٩٣ المذكور يكون القزان موضوعا فى فرن ف وإناء التجمد فى حوض ر المملوء بماء بارد درجته ١٢ + تقريبا وبتسخين القزان الى درجة ١٣٠ يتصاعد النوشادر المحلول فى ماء القزان ويذهب الى اناء التجمد ويسيل فيه بضغطه الخاص ويكون محتويا أيضا على عشر وزنه من الماء

وهذا التقطير من ث الى ا ينتهى فى ساعة وربع ويكون حينئذ ابتداء العملية الثانية التى غايتها وضع القزان فى الحوض المحتوى على الماء البارد شكل ١٩٤ المذكور وإناء التجمد فى الخارج مع الاعتناء بتغليفه بخرق من الصوف جيدة الجفاف وفى هذا الزمن يدخل فى إناء التجمد إناء التنك المملوء ثلاثة أرباعه بالماء فببرودة القزان يذوب ثانيا روح النوشادر المائل له وبحدوث الفراغ فيه يستحيل النوشادر السائل الذى فى إناء ا الى غاز ويتقطر من ا الى ث ليذوب فى الماء الباقى فى القزان وفى مدة هذا التقطير يتشرب النوشادر باستحالته الى الحالة الغازية مقدارا اعظيما من حرارة إناء ح ومن حرارة الماء المحتوى عليه وينشأ عن ذلك تجلد الماء

وهذا الجهاز يعطى اثنين كيلوجرام من الجليد فى الساعة لكن صنعت أجهزة ذات تأثير مستمر تعطى لغاية ٢٠٠ كيلوجرام من الجليد فى الساعة

(البرودة المنسوبة للتشعع الليلى) مدة النهار يقبل سطح الارض من الشمس حرارة اكثر من الحرارة التى يبرزها جهة المسافة السماوية فترتفع حرارته ويكون بالعكس مدة الليل أعنى ان الحرارة التى تشععها الارض حينئذ ليست مستعوضة وينشأ عن ذلك انخفاض فى درجة الحرارة يكون أعظم كلما كانت السماء أقل سحبا لانه متى وجدت السحب أبرزت جهة الارض أشعة شدتها أكثر من شدة الاشعة الآتية من المسافة السماوية وفى الواقع قد يشاهد فى بعض سنى الشتاء ان الانهر لا تتجمد حالة كون السماء

مستترة

مستترة بالسحاب بخلافه فى شتاء بعض سنين أخر بردها أقل شدة فان الانهر تتجمد متى كانت السماء صحوا والقوة الابرازية لها أيضا تأثير عظيم على التبريد المتولد عن التشعع الليلى فكلما زادت هذه القوة زاد التبريد

وسنذكر فى الحوادث الجوية ان سبب ظاهرة تكوين الندى هو التبريد المنسوب الى التشعع الليلى وفى بنجال ينفع التبريد الليلى لتحصيل الجليد الصناعى ولاجل ذلك تعرض على الارض مدة ليالى الصحو أوان كبيرة مفرطحة مملوءة بالماء مع الاعتناء بعزلها على أجسام رديئة التوصيل كالتبن أو الورق الجاف فبفعل التشعع الليلى تبرد هذه الاوانى بحيث يتجمد الماء حتى لو كان الهواء فى عشر درجات فوق الصفر

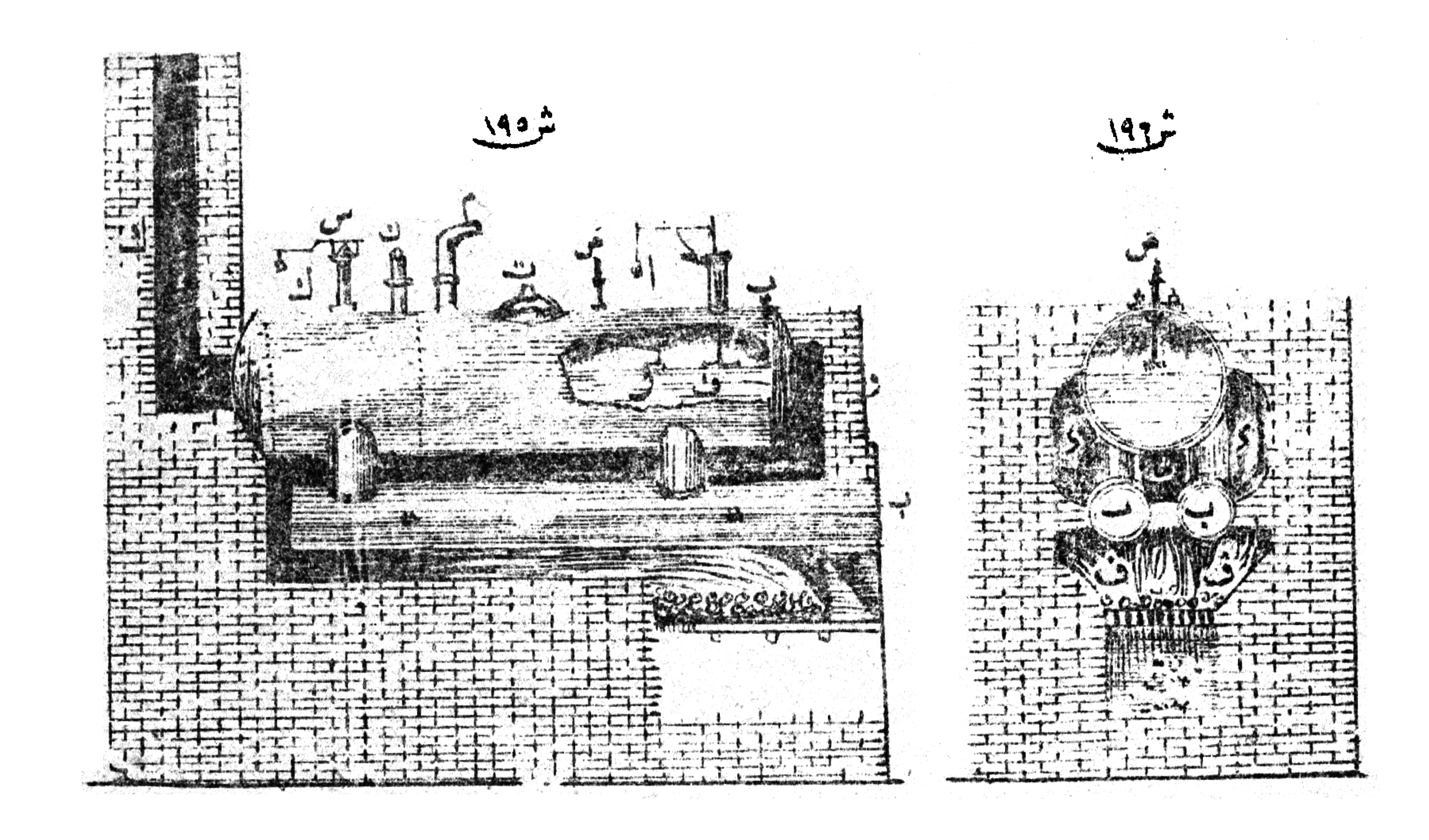
(الفصل العاشر فى الآلات البخارية وفيه مباحث)

الآلات البخارية أجهزة تخدم لاستعمال قوة مرونة بخار الماء كقوة محركة وفى الآلات المستعملة عموما يحدث البخار فى المكبس (بالنظر لقوة مرونته) حركة مستقيمة مترددة تتكيف بعد ذلك الى حركة مستديرة مسترسلة بواسطة أعضاء مختلفة معدة لذلك

وكل آلة بخارية تتركب من جزءين متميزين الجهاز الذى يتولد فيه البخار والآلة الحقيقية ونبتدئ بشرح الجزء الاول فنقول

(المبحث الاول فى مولد البخار)

الجهاز المستعمل لتولد البخار يسمى مولدا أو قزانا وشكل ١٩٥ يبين المنظور الطولى وشكل ١٩٦


ش ١٩٥
ش ١٩٦

يبين القطاع العرضى لقزان آلة ثابتة وهو يخالف كثيرا قزانات مركبات سكة الحديد والسفن البخارية

ويتركب من اسطوانة طويلة من الحديد المصفح ب ك مغلق طرفاها بسدادتين كرويتين وتحتها اسطوانتا ب ب يسميان بالغلايات قطراهما صغيران وهما أيضا من صفائح الحديد وكل منهما متصل بالقزان بفتحتين وهاتان الاسطوانتان معدتان لقبول صدمة النار من الجورة وهما مملوءتان بالماء امتلاء تاما بخلاف اسطوانة ب ك فانها تكون مملوءة فقط الى أزيد من نصفها بقليل وتحت الاسطوانتين الجورة التى فيها يحرق الفحم الحجرى أو الخشب ولاجل تكبير السطح المسخن واستعمال جميع الحرارة المنجذبة مع متولدات الاحتراق تدار هذه المتولدات فى مجار من الآجر محيطة بجدار الاسطوانتين والقزان

وهذه المجارى تقسم الفرن الى قسمين أفقيين ف ف و ث ى كما هو ظاهر فى الشكل القطاعى وزيادة على ذلك فان القسم العلوى منقسم الى ثلاث فتحات متميزة ى ث ى بحاجزين رأسيين غير مبينين فى الرسم مقابلين لجانبى الغلايتين فاللهب ومتحصلات الاحتراق تمر أولا تحت الغلايات من الامام الى الخلف وترجع فى اتجاه مضاد من الفتحة المركزية ث ثم بانقسامها تسير أخيرا من الفتحتين الجانبيتين ى ى فى أنبوبة ك من المدخنة وتذهب منها فى الجو

كيفية توضيح شكلى ١٩٥ و ١٩٦ المذكورين ب ب غلايتان يكونان مملوءين بالماء دائما وموضوعتان فى وسط الجورة ويقبلان صدمة النار مباشرة ث ى ى مجار محيطة بالغلايات والجزء السفلى للقزان وتخدم لاستعمال الحرارة المنجذبة مع متولدات الاحتراق

و عوامة لصفارة النداء بالتيقظ

ف ف الجورة

ف عوامة معدة لبيان استواء سطح الماء فى القزان وتتركب من حجر زاوى مغمور منه جزء فى الماء كما يظهره الشق المصنوع فى جدار القزان وهذا الحجر المعلق فى طرف الرافعة محفوظ فى الموازنة بفقد الوزن الذى يحصل له فى الماء وبالثقل ا فمادام الماء واصلا للارتفاع المطلوب فان

الرافعة الحاملة للعوامة تبقى أفقية لكنها تميل جهة ف حين لا يبقى المقدار الكافى من الماء والى الجهة المضادة اذا زاد مقدار الماء وفى كلتا الحالتين يبادر الوقاد بتنظيم إدخال الماء الممد إدخالا مناسبا

كَ أنبوبة المدخنة منها تتصاعد متولدات الاحتراق ويعطى لهذه الانبوبة ارتفاع عظيم ليقوى انجذاب الهواء

ب كَ قزان اسطوانى من صفائح الحديد منضم مع الغلايات بأربع فتحات ومملوء بالماء الى أعلى من نصفه بقليل

س صمام الأمن السابق شرحه فى حلة پاپين

ت فتحة يدخل منها الانسان لتنظيف وترميم القزان

ا ثقل لموازنة العوامة

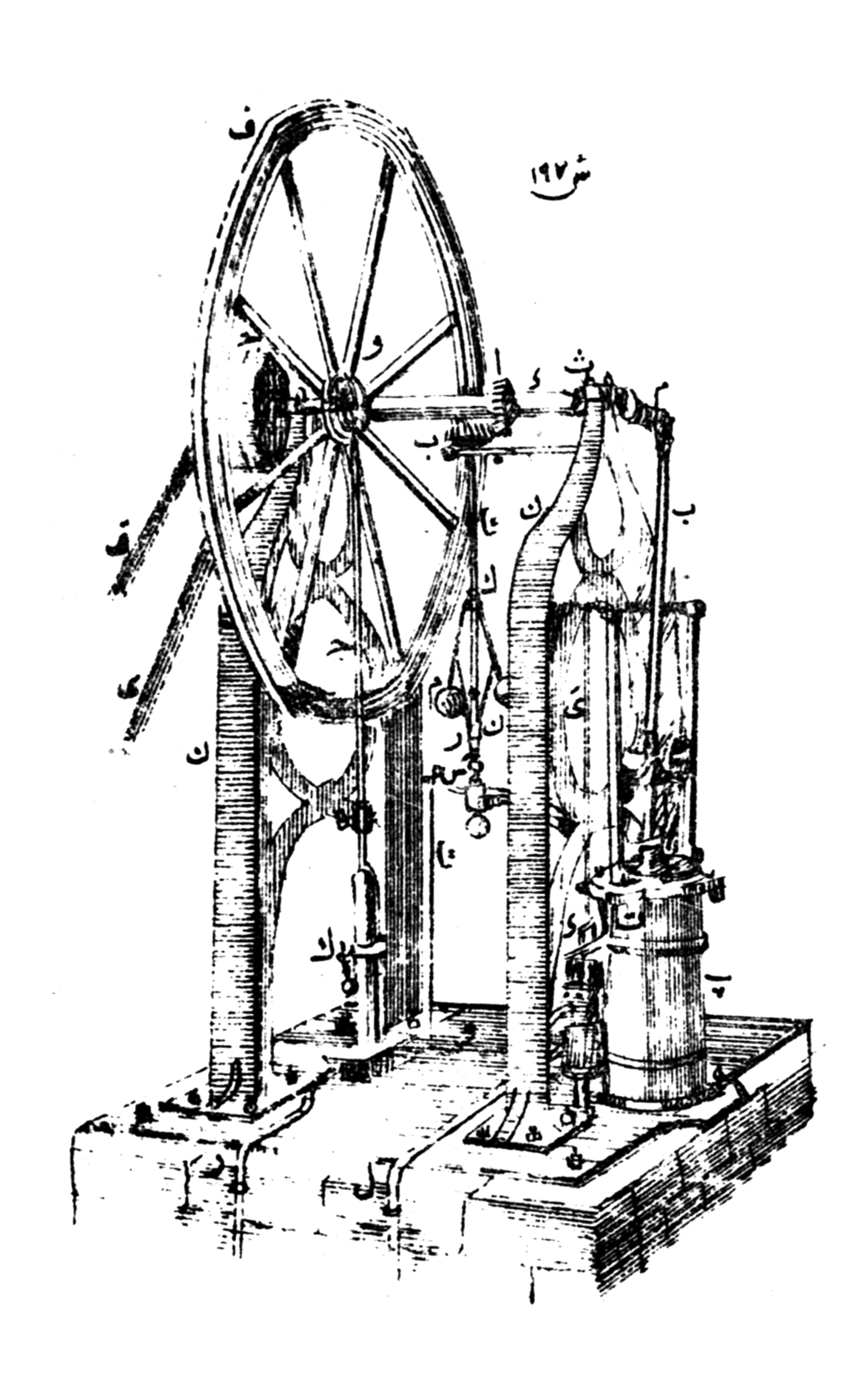
م أنبوبة يصعد منها البخار و يصل الى الآلة

ن أنبوبة يدخل منها الماء الممد للقزان

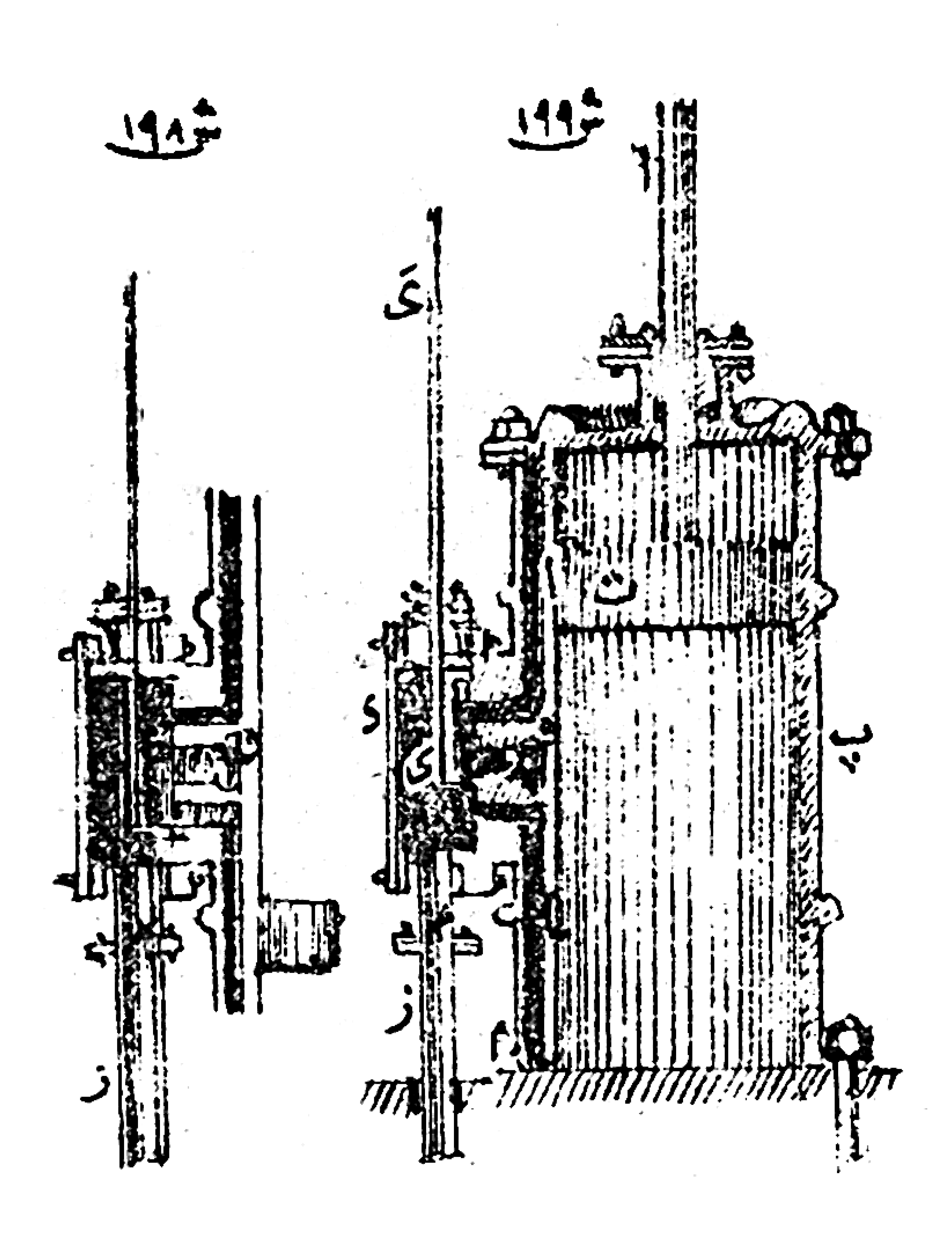
ص صفارة النداء والتيقظ وسميت بهذا الاسم لانها تستعمل لاعطاء التنبيه بالاحتراس فى حالة ما اذا كان الماء الذى فى القزان غير كاف وهذه الحالة تسبب حدوث ثورة بمجرد إدخال الماء فيه لانه فى هذه الحالة يتولد مقدار زائد من البخار زمن إدخال الماء فيه حيث ان جدران القزان محمرة بالحرارة وما دام استواء الماء لا ينخفض كثيرا فى القزان فان البخار لا يمر فى الصفارة لكن اذا انخفض الاستواء عن الارتفاع المناسب نزلت العوامة الصغيرة و الغالقة لقاعدة الصفارة وأعطت منفذا للبخار وبصعود البخار يصدم حوافى قرص معدنى رقيق وباهتزاز القرص يتولد صوت حاد ينبه الوقاد

(المبحث الثانى فى الآلة البخارية المزدوجة التأثير)

الآلة البخارية المزدوجة التأثير هى الآلة التى فيها يؤثر البخار على التعاقب أعلى وأسفل المكبس ليحدث فيه حركة مستقيمة مترددة تتكيف بعد ذلك الى حركة مستديرة مستمرة وشكل ١٩٧


ش ۱۹۲

يعطى منظور مجموع آلة بخارية ذات تأثير مزدوج وشكلا ١٩٨ و ١٩٩



يبينان قطاعاسيا للاسطوانة وتوزيع البخار وهذه الآلة جميعها من الزهر ومحمولة على قائمى ن ن من الزهر أيضا فعلى يمين الرسم اسطوانة پ يصل اليها البخار من القزان بواسطة أنبوبة ز وفى هذه الاسطوانة مكبس ت الذى يؤثر عليه البخار من أعلى الى أسفل ومن أسفل الى أعلى على التوالى

وساق المكبس المشترك معه فى هذه الحركة المزدوجة ينقلها الى القطعة الطويلة ب المسماة بالذراع التى تتصل اتصالا مفصليا من أحد طرفيها بطرف الساق ا ومن طرفها الآخر بالقطعة الصغيرة جدا م التى هى الركبة ومن الحركة الصاعدة والنازلة لقطعة ب تقبل الركبة حركة مستديرة مستمرة وتنقلها الى السهم الافقى أى المحور ء المثبتة

المثبتة فيه وهذا السهم يحمل من طرفه الآخر بكرة ح يمر عليها سير من جلد ق ى وبانجذاب هذا السير بالبكرة ينقل الحركة الى الآلة المراد تحريكها كآلة الحلج والنشر والطبع وغير ذلك وبجوار البكرة ح بكرة ثانية ليست مثبتة فى السهم تستعمل لايقاف حركة الآلة المتحركة بالآلة البخارية بدون وقوف الآلة البخارية ولاجل ذلك يمرر السير الجلد بواسطة شعبة من حديد معاقة له ليست موضحة فى الشكل المذكور من بكرة ح الى البكرة المذكورة المتحركة فلا ينقل السير حينئذ القوة المحركة فتقف الآلة فى الحال

ويوجد على المحور بخلاف ذلك عجلة كبيرة من زهر ف تسمى بالطيارة وهذه العجلة ضرورية لانتظام حركة الآلة وفى الواقع انه عند وصول المكبس لاعلى وأسفل جريته يكابد وقوفا قصيرا جدا فيه تميل حركة جميع الآلة للوقوف لكن تجذب الطيارة حينئذ المحور معها بفعل القصور الذاتى وبالنظر لسرعتها المكتسبة فتستمر الحركة منتظمة

(منتظم القوة المركزية الطاردة) حركة الآلات البخارية تميل على الدوام الى التزايد أو التناقص سواء كان بسبب تغير شدة بخار القزانات أو بسبب كثرة أو قلة عدد الآلات المتحركة المنتقلة اليها القوة المحركة

ولاجل ذلك أضاف المعلمون الى الآلات البخارية منظم القوة المركزية الطاردة وهو جهاز فيه تستعمل القوة المركزية الطاردة لتنظيم البخار الذى يأتى للآلة بحيث ان مقدار البخار يزيد متى ضعفت السرعة كثيرا وينقص متى صارت السرعة عظيمة جدا ويتركب المنظم من متوازى الاضلاع مفصليا ك م ن ر شكل ١٩٧ المذكور مثبت على ساق رأسى ث تصل اليه حركة المحور الدورية بواسطة عجلتين زاويتين ا ب والضلعان الجانبيان لمتوازى الاضلاع حاملان لكرتين من الزهر م ن يميلان بهما على الدوام للانضمام بسبب ثقلهما بعكس القوة المركزية الطاردة الناتجة عن دوران الكرتين مع الساق ث فانهما تميل على الدوام الى تباعدهما عن بعض وفتح متوازى الاضلاع أى تباعد أضلاعه عن بعضها وينشأ عن ذلك على حسب كثرة أو قلة سرعة الآلة حركة من أعلى الى أسفل أو من أسفل الى أعلى تنتقل الى قطعة ر المنزلقة بطول ساق ث وهذه القطعة هى التى بواسطة رافعة س ت و تغلق أو تفتح غطاء ف الموضوع على أنبوبة ز الآتى منها البخار كما فى شكل ١٩٨ المذكور

وهذا الغطاء منظم بكيفية بها ينغلق كثيرا كلما ازداد تباعد كرتى المنظم كثيرا ثم متى جاوزت سرعة الآلة بعد ذلك الحد المطلوب أتى البخار بمقدار قليل ونقصت القوة المحركة و بطوئت الحركة

(الطلونبة الممدة) من الضرورى مد القزان بالماء بمجرد تبخره ولاجل ذلك يضم للآلة البخارية الطلونبة ك المساصة الكابسة التى ساقها ح يتحرك حركة ذهاب وإياب بواسطة القطعة المستديرة و المسماة ايكسنتريك المثبتة فى محور الطيارة وهذه الطلونبة تمتص الماء من بئر وتطرده بواسطة أنبوبة من نحاس ر فى القزان

(توزيع البخار) باقى من شرح الآلة البخارية معرفة توزيع البخار أعنى التركيب الذى يستعمل لمرور البخار أسفل وأعلى المكبس على التوالى وشكلا ١٩٨ و ١٩٩ المذكورين يوضحان قطاع هذا التركيب

فالبخار الآتى من القزان بواسطة أنبوبة ز يجتمع فى علبة من الزهر ء وهى علبة التوزيع ومن هذه العلبة يخرج موصلان ا ب أحدهما يوجه البخار أسفل المكبس والثانى يوجهه أعلاه

والقطعة المتحركة ى المسماة بالمصرفة تغلق على الدوام أحد هذين الموصلين ففى شكل ١٩٩ الموصل العلوى ا هو الذى يوجد مغلقا و بوصول البخار أسفل المكبس يرفعه والمصرفة مثبتة فى الساق ى الذى يقبل من الايكسنتريك ث شكل ١٩٧ المذكور حركة متعاقبة من أسفل الى أعلى ومن أعلى الى أسفل بها تأخذ المصرفة على التوالى الاوضاع الموضحة فى شكلى ١٩٨ و ١٩٩ فكلما وصل البخار أسفل المكبس كما فى شكل ١٩٩ يكون الجزء العلوى من الاسطوانة متصلا بواسطة موصل ا بقناة و الخارجة منها أنبوبة ل شكل ١٩٧ التى يتصاعد منها البخار الذى أثر على المكبس ثم متى وصل البخار أعلى المكبس كما فى شكل ١٩٨ يكون الجزء السفلى من الاسطوانة هو المتصل بموصل ب و بنفس قناة و و بأنبوبة ل وحينئذ فوصلا ا ب يخدمان على التعاقب لدخول البخار وخروجه وفى الآلات ذات الضغط العظيم يذهب البخار المتصاعد من أنبوبة ل فى الجو لكن فى الآلات ذات الضغط القليل أو المتوسطة الضغط يوجه البخار فى اناء مغلق يسمى بالمكثف مملوء بالماء البارد فبملامسة البخار له يتكثف فيه


*(المبحث

(المبحث الثالث فى الآلة البخارية المتنقلة أى العربة البخارية)

الآلات البخارية التى تتدحرج بنفسها على شريط السكة الحديد أى حامل العربة وتنقل الحركة الى العجلات تسمى آلات انتقالية اولوكوموتيف

والآلة المتنقلة تكون ذات تركيبة مفصلية لكنها خالية عن الطيارة التى فى الآلات البخارية الثابتة وشكل قزانها مخالف بالكلية أيضا والاجزاء الاصلية لهذه الآلة هى البرواز وعلبة النار والجسم الاسطوانى للقزان وعلبة الدخان واسطوانتا البخار بصماميهما والعجلات المحركة والممد

فأما البر وازفهو حافظ من خشب البلوط محمول على محاور العجلات وهو الماسك لجميع أجزاء الآلة وشكل ٢٠٠



يبين المهندس الذى يوجه الآلة راكبا على السطح الصاج المغطى للبرواز وقت استعداده لفتح آخذ البخار ى الموضوع فى الجزء العلوى من علبة النار ز وفى الجزء السفلى من هذه العلبة تكون البورة التى منها يتجه اللهب ومتولدات الاحتراق الى علبة الدخان ى ثم الى أنبوبة المدخنة بعد ان يجتاز ١٢٠ أنبوبة من النحاس مغمورة بالكلية فى ماء القزان

والقزان الذى يوصل علبة النار بعلبة الدخان من النحاس الاحمر اسطوانى الشكل قطره متر تقريبا ومحاط بألواح من خشب الكابلى تحفظ حرارته بسبب ضعف توصيلها للحرارة وعند خروج البخار من القزان يتجه فى اسطوانتين موضوعتين بجانبى علبة الدخان وهناك يتوزع بكيفية تشبه الكيفية المذكورة فى توزيع البخار المتقدمة ويؤثر على التعاقب على سطحى كل من المكبسين اللذين ساقاهما ينقلان الحركة الى محور عجلتين كبيرتين

وعلبة التوزيع ليست ظاهرة فى الشكل لانها موضوعة تحت البرواز بين الاسطوانتين وبعد أن يؤثر البخار على المكبسين يتصاعد فى أنبوبة المدخنة ويساعد حينئذ على انجذاب تيار الهواء فى المدخنة

وانتقال حركة المكبسين الى العجلتين الكبيرتين يحصل بواسطة ركبتين يوصلان ساقى المكبسين بمحور العجلتين بواسطة ذراعين وأما حركة ذهاب واياب الدرج فى علبة التوزيع لكل من الاسطوانتين فتحصل بواسطة الايكسنتريك (وهو دائرتان احداهما منشبكة بالاخرى ومختلفتا المركز) الموضوع على محور العجلتين الكبيرتين والاستمداد أعنى تجديد الماء فى القزان يحصل بواسطة طلومبتين ماصتين كابستين موضوعتين تحت البرواز تتحركان بواسطة ايكسنتريكين وهاتان الطلومبتان يمتصان الماء بواسطة أنابيب الاستطراق من حوض موضوع على العربة التالية للوكوموتيف وهى العربة الحاملة للماء والفحم اللازم لسير معلوم

(المبحث الرابع فى الحصان البخارى)

فى علم الميكانيك المطبق على الصنائع يقصد بالشغل الميكانيكى للقوة المحركة حاصل ضرب العزم الذى تظهره فى المسافة المقطوعة بهذا العزم ويؤخذ وحدة لهذا الشغل

الميكانيكى الكيلوجرامومتر الذى هو الشغل اللازم لرفع الكيلوجرام الواحد لارتفاع متر واحد فى الثانية الواحدة

وفى قياس شغل الآلات البخارية يؤخذ الحصان البخارى وحدة والمراد به هنا الشغل اللازم لرفع ٧٥ كيلوجرام لارتفاع متر واحد فى الثانية الواحدة أى انه يكافئ ٧٥ كيلوجرامومتر

فحينئذ الآلة البخارية التى قوتها ٤٠ حصانا هى التى يمكن أن ترفع على الدوام أمثال ٧٥ كيلوجرام ٤٠ مرة أى ٣٠٠٠ كيلوجرام لارتفاع متر فى الثانية الواحدة وشغل الحصان البخارى هو تقريبا ضعف شغل الحصان المعتاد

تم الجزء الاول من كتاب الطبيعة بحمد الله وعونه ويليه الجزء الثانى اوله (الباب السابع فى الضوء) والحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف المرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين

